SCIENCES ET AVENIR
La Recherche

©PHOTOMONTAGE SETA : D.NATALIA/SHUTTERSTOCK-POPTIKA/SHUTTERSTOCK
RMN-GRAND PALAIS/BRITISH MUSEUM

Les 10 découvertes de l'année p.10

Les origines de la vie

Des astéroïdes relancent le débat p.30

Les jeux de société de l'Antiquité p.78

JANVIER 2023 - N° 911 - ALLEMAGNE 7,40 € / AUTRICHE 6,50 € / ITALIE 5,70 € / LUXEMBOURG 5,70 € / GRÈCE 5,70 € / BELGIQUE 5,70 € / ESPAGNE 5,70 € / DOM 5,90 € / DOM-AVION 7,50 € / ANDORRE 5,40 € / PORTUGAL 5,70 € / TOM 800 XPF / ILE MAURICE : 8.60€ / TOM (AVION) 1500 XPF / SUISSE 9.50 CHF / TUNISIE 10 TND / MAROC 55 DH / CANADA-USA 8.20 $

L 13418 - 911 - F: 5,30 € - RD

SCIENCES ET AVENIR / LA RECHERCHE - N° 911 - JANVIER 2023 - LES ORIGINES DE LA VIE

NESPRESSO France SAS - SIREN 382 597 821 - RCS PARIS 27 rue du Colonel Pierre Avia, 75015 Paris.

UN GOÛT INOUBLIABLE QUI N'OUBLIE PERSONNE.

À chacun son café Nespresso. Comme Jean, Camille et George, commencez votre journée par un moment inoubliable en partant à la découverte de plus de 60 variétés de café Nespresso.
Et n'oubliez pas de recycler !

JUSQU'OÙ IRIEZ-VOUS POUR UN CAFÉ NESPRESSO ?

*what else?**

*Quoi d'autre ?

Ajoutez de la féérie à vos courriers de fin d'année

13,92 € NET
Le carnet de 12 timbres

Carnet de timbres en édition limitée

N'attendez pas pour sublimer vos envois de courriers et de vœux. 12 timbres pour créer la surprise et l'émotion. L'assurance de faire plaisir avec une attention personnalisée pour les fêtes.

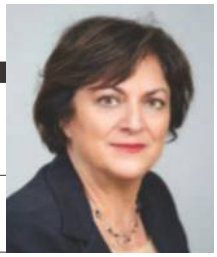
DISPONIBLE EN BUREAU DE POSTE ET SUR LAPOSTE.FR

Flashez et découvrez nos produits festifs.

vous simplifier la vie

Tarif Lettre verte en vigueur jusqu'au 31/12/2022, susceptible d'être modifié en fonction de l'évolution tarifaire annuelle des timbres. Les tarifs nets sont des tarifs non assujettis à la TVA.

La Poste – SA au capital de 6 620 325 816 € – 356 000 000 RCS Paris – Siège social : 9, rue du Colonel Pierre Avia 75015 Paris – BETC – HAVAS PARIS


BERNARD MARTINEZ

Dominique Leglu
Directrice éditoriale

Un palais à découvrir

Presque trois ans à attendre, mais c'est aujourd'hui que tout se dessine pour ce joyau du patrimoine scientifique français, alors que des travaux gigantesques sont en cours à une encablure des Champs-Élysées. Certains auront peut-être deviné. C'est bien du nouveau palais de la Découverte qu'il s'agit, dont l'ouverture est prévue en deux temps, au printemps puis à l'automne 2025. Pour l'instant, le palais d'Antin qui l'accueillera comme son prédécesseur n'est qu'un vaste chantier à l'instar de l'ensemble du Grand Palais, dont la nef et son immense verrière verront s'affronter escrimeurs et twaekondoïstes lors des jeux Olympiques 2024 à Paris.

Médiation humaine. Pour la première fois de façon officielle, au-delà du comptage rassurant des mètres carrés dont on pouvait redouter le grignotage (finalement 7579 contre 7135 avant fermeture, le dixième du Grand Palais), a été présentée fin novembre la préfiguration de son contenu scientifique. Il y a de quoi se réjouir si les promesses sont tenues. Doit être maintenu ce qui avait constitué une façon révolutionnaire de présenter la science, lors de son ouverture en 1937, à savoir la monstration par des médiateurs et médiatrices… humains d'expériences spectaculaires. Une quarantaine de ces spécialistes de médiation est prévue.

Science en action. Promis, juré, le grand public retrouvera la manipe-icône d'électrostatique où s'ébouriffent les cheveux des participants, le long d'invisibles lignes de champ. Il en est promis bien d'autres, comme la naissance d'une tornade, autre classique forcément tendance en ces temps de changement climatique. Mais il s'agit aussi aujourd'hui de montrer la science en action, comme déclarent le vouloir Universcience, qui chapeaute les destinées du palais de la Découverte, et le CNRS, désormais partenaire scientifique de référence.

Sacré pari. Expliciter la science en train de se faire et la méthode suivie par les scientifiques relève de la gageure. Il s'agit d'une démarche intellectuelle souvent difficile à appréhender pour qui n'a jamais mis les pieds dans un laboratoire. Reste que le pari semble indispensable à l'heure des *fake news* et des théories du complot antiscience. Sont ainsi envisagés des « îlots de recherche contemporaine », outre une salle immersive pour faire découvrir les grands équipements scientifiques, tel le synchrotron Soleil, ainsi qu'un planétarium high-tech et une galerie destinée aux enfants. De quoi, si c'est réussi, accéder aux réflexions les plus actuelles, pour anticiper le futur numérique ou décrypter le vivant.

Science pour tous. Une chose est sûre, jamais le palais de la Découverte, créé pour être un lieu de science ouvert à tous par Jean Zay, ministre de l'Éducation nationale assassiné par la milice française en juin 1944, et le physicien Jean Perrin (1870-1942), n'aura connu une telle opportunité de renouveler son attractivité. Car le Grand Palais qui l'abrite, honni par Le Corbusier et maints architectes du XX^e^ siècle, va redevenir après restauration un monument incontournable de la capitale. ■ @dominiqueleglu

COURRIER

Courriels à : **courrier-lecteurs@sciencesetavenir.fr**

Avant le Big Bang

(*Sciences et Avenir-La Recherche* n° 909, novembre 2022)

J'ai lu avec beaucoup d'intérêt votre dossier sur l'avant-Big Bang. Dans l'article intitulé «Un début de l'Univers qui fait débat », vous situez la phase d'inflation *(pp. 39 et 41)* à 10^{-34} seconde. Je lis 10^{-32} seconde sur Wikipédia. Qu'en est-il ? Par ailleurs vous parlez bien de la longueur de Planck : 10^{-35} mètre. Vous n'évoquez pas du tout (ou je ne l'ai pas vu) la « Barrière de Planck » : 10^{-44} seconde (selon un autre site Internet). Quel serait son lien avec l'« inflation » ?

Philippe Cambon

S. et A. : La « date » de l'inflation n'est pas connue « exactement », mais elle est bien estimée aux alentours de 10^{-34} seconde. Ce qui est plus précis que 10^{-32} seconde d'un facteur 100, sans que cela ne change grand-chose. Enfin, rappelons que l'inflation n'est pas définitivement prouvée, donc la période où elle aurait eu lieu non plus. Le temps de Planck (qui correspond plutôt à 10^{-43} seconde) n'a pas de rapport avec l'inflation. C'est la quantité de temps en deçà de laquelle il est impossible de descendre. En gravitation quantique, le temps de Planck correspond au quantum de temps minimum, tout comme la longueur de Planck correspond au quantum d'espace minimum (10^{-35} mètre).

À quoi sert le dysprosium ?

Dans le dernier numéro de *Sciences et Avenir* (n° 910), l'éditorial intitulé « Sauveur de mondes » signale qu'il n'y a pas de dysprosium dans le corps humain. Rien à dire à cela, d'autant que je ne suis pas compétent. Par contre, ajouter en fin de page que le dysprosium est l'élément le plus inutile du monde est peut-être imprudent : je vous renvoie au *Dictionnaire des corps purs de la chimie* (Robert Luft), qui signale quelques emplois importants de cet élément, peut-être y en a-t-il de nouveaux car ce dictionnaire date de 1997... Malgré cet oubli, votre revue n'en reste pas moins très intéressante !

Christian Besson

S. et A. : Vous aurez compris qu'il s'agit de l'humour tout britannique de l'auteur de *Magique atome* qui s'exprimait ici. En d'autres termes, le dysprosium, le pauvre, exhibe beaucoup de possibilités mais se fait toujours battre par un autre élément.

Rectificatif

Une erreur s'est glissée dans la Question de lecteurs sur la différence entre essence et gazole *(n° 910, page 96)* : à l'allumage, la compression de l'air dans les moteurs diesel est d'environ 35 bars ; c'est la pression d'injection qui peut atteindre jusqu'à 2000 bars.

LES INDISPENSABLES
SCIENCES AVENIR
La grande histoire de la PHYSIQUE
Chez votre marchand de journaux
Et aussi sur smartphone et tablette

BERNARD MARTINEZ

ÉDITO

Mathieu Nowak
Rédacteur en chef

À la recherche de l'étincelle

Pas moins de 20 acides aminés, dont certains forment les protéines que l'on rencontre dans tous les êtres vivants, viennent d'être identifiés dans l'astéroïde Ryugu *(p. 32)*. À l'heure où nous écrivons ces lignes, l'annonce dans les revues *Science* et *Geochimica et Cosmochimica Acta* est imminente. C'est l'un des enseignements les plus spectaculaires du retour des échantillons prélevés par la sonde japonaise Hayabusa-2 sur un corps céleste évoluant à plusieurs centaines de millions de kilomètres de nous. Un résultat qui résonne avec un autre, publié quelques mois plus tôt : l'alphabet complet A, T, G, C, U des bases nucléiques dont sont formés l'ADN et l'ARN, supports de l'information génétique dans le vivant, était déjà présent dans la météorite de Murchison, tombée sur Terre en 1969, dont certains grains sont plus vieux de 2,5 milliards d'années que notre système solaire. Ce fragment contient en outre pas moins de 96 acides aminés, alors que seuls 22 servent à fabriquer les protéines biologiques ! Ces résultats inédits brouillent la frontière entre l'inerte et le vivant, nous explique le philosophe des sciences de la vie Christophe Malaterre *(p. 44)*. Personne n'est aujourd'hui en mesure de dire si la vie est apparue ailleurs que sur la Terre, mais il ne fait plus aucun doute que les briques élémentaires de celle-ci existaient dans l'espace avant même la formation de notre planète. Mieux, les briques étaient donc plus nombreuses, de quoi imaginer, pourquoi pas, d'autres formes de vies que celle que nous connaissons. Un scénario que n'excluent pas les chercheurs de l'institut marseillais Origines, qui s'apprêtent à tenter de reproduire l'étincelle de la vie dans des conditions similaires à celles de la Terre primitive *(p. 40)*, sans savoir à quoi s'attendre.

> « Il ne fait plus aucun doute que les briques élémentaires de la vie existaient dans l'espace avant même la formation de notre planète »

Ces découvertes, qui se sont accumulées au cours de l'année, sont loin d'être les seules à avoir piqué notre curiosité en 2022. Vous lirez dans ce numéro notre palmarès annuel des 10 résultats scientifiques à retenir *(p. 10)*, les dernières révélations sur la vie dans les océans par la mission Tara *(p. 56)*, ou encore les récentes recherches sur les plus anciens jeux de société connus qui éclairent notre connaissance des civilisations antiques *(p. 78)*. *Sciences et Avenir* vous présente tous ses vœux pour 2023, que cette année puisse être au moins aussi riche en découvertes. Notre passion commune ne se tarira pas ! ■ @mathieu_nowak

SCIENCES ET AVENIR La Recherche

SERVICE ABONNEMENT
et anciens numéros
Tél. : 01.55.56.71.48
Sciences et Avenir 45, avenue du Général-Leclerc 60643 Chantilly cedex
abonnements@sciencesetavenir.fr

Tarif des abonnements : France, 1 an simple (12 numéros dont un double) : 35 € 1 an complet (12 numéros dont un double + 4 hors-séries) : 48 €. Étranger : nous consulter.
Abonnements Belgique : Edigroup : tél. 00.32.70.233. 304
Abonnements Suisse : Edigroup : tél. 00.41.22.860.84.01

Pour joindre la rédaction :
41 bis, avenue Bosquet 75007 Paris
Tél. : 01.55.35.56.01.
E-mail : redaction@sciencesetavenir.fr
Site Internet : sciencesetavenir.fr

Directrice éditoriale Dominique LEGLU - 01.55.35.56.02
Rédacteur en chef Sciences et Avenir Mathieu NOWAK 01.55.35.56.38
Rédacteur en chef La Recherche Philippe PAJOT - 01.70.98.19.29
Rédacteur en chef digital Olivier LASCAR - 01.55.35.56.15

Rédaction en chef hors-série Vincent REA - 01.55.35.56.35
avec Florence LEROY - 01. 55.35.56.36
Adjoint à la rédaction en chef
Laurent PERICONE (édition) - 01.55.35.56.10
Rédacteur(trice)s en chef adjoint(e)s
Vincent GLAVIEUX (La Recherche) - 01.70.98.19.32
Andreina DE BEI (photo) - 01.55.35.56.31
Lise LOUMÉ (digital) - 01.55.35.56.39
Directeur(trice)s artistiques
Dominique PASQUET (couverture) - 01.55.35.56.59
Jean-Louis GILABERT - 01.55.35.56.28
Thalia STANLEY (adjointe) - 01.55.35.56.21
Secrétaire générale de la rédaction
Véronique MESSAGER - 01.55.35.56.18
Conseillère auprès de la rédaction en chef
Rachel MULOT (cheffe de service enquêtes) - 01.55.35.56.07
Chef de service Fabrice NICOT (fondamental) - 01.55.35.56.46
Chef de service adjoint Hervé RATEL (actualités) - 01.55.35.56.45
Chef(fe)s de rubrique
Mathias GERMAIN (biologie, médecine, santé) - 01.70.98.19.33
Sylvie RIOU-MILLIOT (médecine, santé) - 01.55.35.56.54
Hugo JALINIÈRE (actualités, médecine) - 01.55.35.56.52
Rédaction Marine BENOIT (archéologie, histoire) - 01.55.35.56.23
Franck DANINOS (fondamental) - 01.55.35.56.78 Arnaud DEVILLARD (numérique, expositions) - 01.55.35.56.27 Sylvie ROUAT (grand reporteure, espace, océanologie) - 01.55.35.56.40
Assistante de la rédaction Valérie PELLETIER - 01.55.35.56.01
Collaborateurs(trices) Sylvie BOISTARD, Loïc CHAUVEAU, Johan KIEKEN
Chroniqueurs Christophe CASSOU, Jean-Gabriel GANASCIA, Céline GUIVARCH, Claire MATHIEU
Ont participé à ce numéro P. BERLOQUIN, A. BOEHLY, F. ELMALEH, P. KALDY, F. NOIRIT, M. PARRA
Secrétaire de rédaction Sandrine HAGÈGE - 01.55.35.56.17
Maquette Horia BAHRI - 01.55.35.56.19
Photo-iconographie Isabelle TIRANT - 01.55.35.56.32
Claire BALLADUR - 01.70.98.19.41
Pôle digital Valentin COLLIAT-DANGUS (community manager) - 01.55.35.56.70, Isabelle DO O'GOMES (cheffe de rubrique, veille) - 01.55.35.56.49, Camille GAUBERT (santé) - 01.55.35.56.24, Joël IGNASSE (espace, paléontologie) - 01.55.35.56.15, Coralie LEMKE (santé) - 01.55.35.56.56, Astrid SAINT AUGUSTE (rédactrice spécialisée) - 01.55.35.56.48, Anne-Sophie TASSART (cheffe de rubrique) - 01.55.35.56.41
Clémence BAUDOIN - responsable projets digitaux
Jessica RIOS - cheffe de projet digital
Courrier des lecteurs
Sara DE LACERDA - courrier-lecteurs@sciencesetavenir.fr
Informatique Daniel DE LA REBERDIÈRE - 01.55.35.56.06
Responsable administrative et financière Jaye REIG - jreig@challenges.fr
Comptabilité - compta@challenges.fr
Responsable ressources humaines Mélanie HENOU - mhenou@challenges.fr
Responsable paye Sandrine MARTIN - smartin@challenges.fr
Fabrication Sarah RABBAH

Publicité MediaObs 44, rue Notre-Dame-des-Victoires 75002 Paris Tél. : 01.44.88.97.70. Fax : 01.44.88.97.79.
Courriel : l'initiale du prénom puis nom suivi de @mediaobs.com
Directrice générale Corinne ROUGÉ - 01.44.88.93.70 - assistée de Marie-Noëlle MAGGI - 01.44.88.93.70
Directeur de publicité Emmanuel LALA - 01.44.88.89.28
Exécution : Cédric AUBRY - 01.44.88.89.05
Administration des ventes Catherine FERNANDES - 01.44.88.89.20
Directeur commercial Valéry SOURIEAU
Directeur des abonnements Luc BONARDI
Responsable des abonnements Lina QUACH - 01.55.35.56.63

Les Éditions Croque Futur
Président, directeur de la publication Claude PERDRIEL
Directeur général Philippe MENAT
Directeur éditorial Maurice SZAFRAN
Secrétaire général Jean-Claude ROSSIGNOL

Origine du papier : Allemagne - Taux de fibres recyclées : 0 % Eutrophisation : PTot = 0,018 kg/tonne de papier
Ce magazine est imprimé chez Roto France (Lognes), certifié PEFC

Les noms et adresses de nos abonnés seront communiqués aux organismes liés contractuellement avec *Sciences et Avenir*, sauf opposition. Dans ce cas, la communication sera limitée au service de l'abonnement. Ce numéro comporte l'encart « Enceinte connectée Polaroid - Sophia Boutique » ainsi qu'une lettre de « bienvenue aux abonnés » jetés sur couverture sur une partie de la diffusion abonnés.
Commission paritaire n° 0625 K 79712. ISSN 00368636. Distribué par MLP.

Musées
DE MONTBÉLIARD

ANATOMIE
COMPARÉE DES

ESPÈCES IMAGINAIRES

EXPOSITION

17 SEPTEMBRE 2022 ▶ 12 MARS 2023

Musée du château des
ducs de Wurtemberg

MONTBÉLIARD

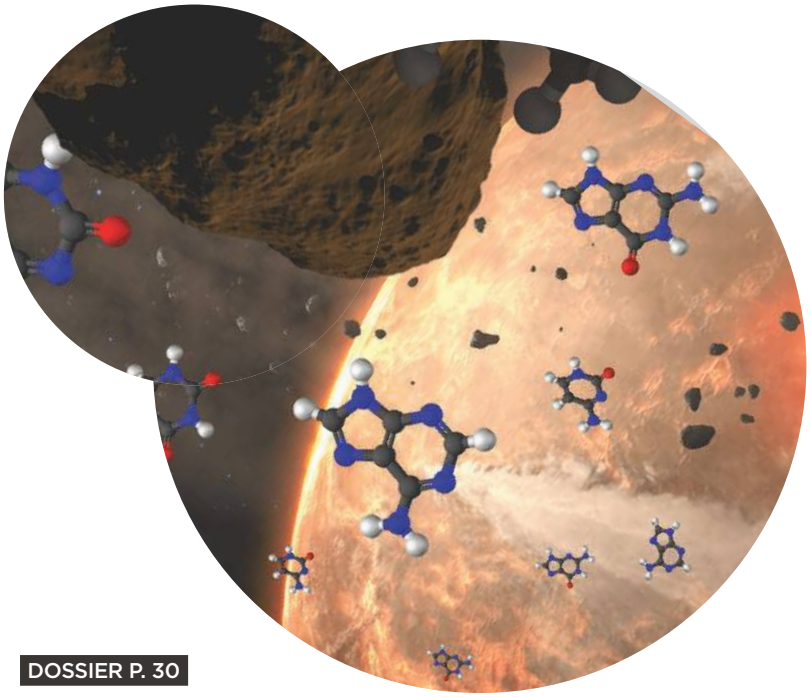
Pôle Culturel

Illustration : Arnaud Rafaélian — Conception : Tristan Fellmann

Montbéliard

SOMMAIRE

Sciences et Avenir - La Recherche / N° 911 / Janvier 2023



DOSSIER P. 30

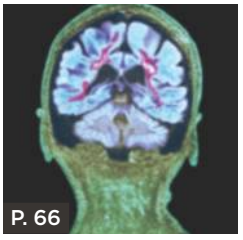
En quête des origines de la vie

Les briques élémentaires du vivant existaient dans l'espace bien avant la formation de notre planète et de nombreux composés organiques sont même trouvés dans des corps extraterrestres. Plusieurs expériences vont tenter de reproduire l'étincelle de la vie dans des conditions similaires à celles de la Terre primitive.

P. 10

Les 10 découvertes de 2022

L'année écoulée a été riche en découvertes scientifiques. Des confins de l'Univers aux grands fonds océaniques, en passant par notre système immunitaire, voici notre sélection.



P. 66

La sclérose en plaques endiguée grâce à l'autogreffe

La progression de cette maladie du système nerveux central peut être freinée grâce une transplantation de cellules souches sanguines, avec environ 80 % d'efficacité. Explications.

P. 78

Les jeux de société des civilisations antiques

Un projet européen inédit, mené par une douzaine de chercheurs, met en évidence la place sociale, culturelle et religieuse qu'occupait le jeu dans l'Antiquité égyptienne, grecque et romaine.

5 **Éditorial** par Dominique Leglu

6 **Courrier**

7 **Édito** par Mathieu Nowak

ÉVÉNEMENT

10 **Les 10 découvertes de 2022**

SCIENCES FONDAMENTALES

14 **ACTUALITÉS** La Nasa de retour au plus près de la Lune / Les magnétoiles possèdent une surface solide

46 **La révolution verte de la « blockchain »**

NATURE

18 **ACTUALITÉS** Un parasite transforme des loups en chefs de meute / Un riz pérenne pour soulager la planète et les humains

50 **Sobriété énergétique : les vrais leviers pour y parvenir**

56 **La mission Tara révèle de nouveaux secrets océaniques**

60 **La catastrophe écologique couvait déjà il y a 50 ans**

SANTÉ

22 **ACTUALITÉS** Des ultrasons pour traiter le tremblement essentiel / Le premier rapport sexuel active l'immunité vaginale

66 **Sclérose en plaques : l'autogreffe reconstitue le système immunitaire**

71 **Les traitements de l'espoir contre la maladie du foie gras**

74 **Une seule Terre, une seule santé**

76 **Nutrition : chocolat, le plaisir assumé**

HISTOIRE

26 **ACTUALITÉS** Une incantation contre les poux sur un peigne / La plus ancienne preuve de cuisson

78 **Jeux de société : comment ils racontent les grandes civilisations antiques**

84 **Ce cristal de roche qui fascinait tant les peuples anciens**

TRANSVERSALES

88 **Sélection livres**

92 **Expositions**

93 **Le ciel de janvier**

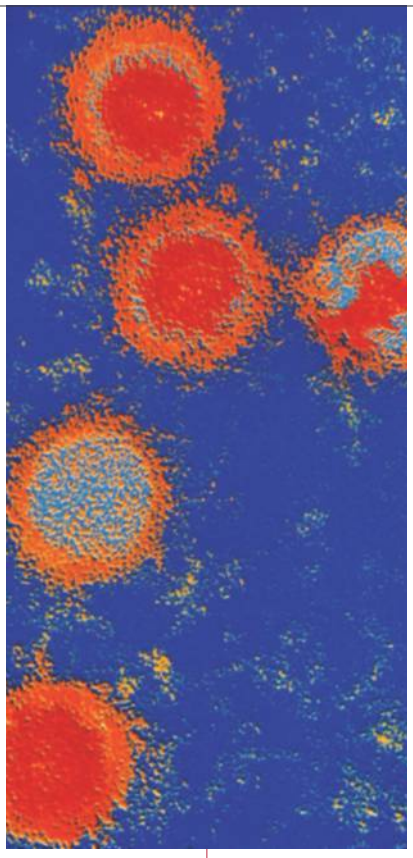
94 **Chroniques**
Climat par Christophe Cassou et Céline Guivarch / Mathématiques par Claire Mathieu / Éthique par Jean-Gabriel Ganascia / L'œil d'Olivier Lascar

96 **Questions de lecteurs**

97 **Jeux**

NASA GODDARD/CI LAB/D. GALLAGHER - W. THOMAS / STATION BIOLOGIQUE DE ROSCOFF / SU / CNRS - SPL/ PHANIE - G. DAGLI ORTI/ DE AGOSTINI PICTURE LIB. / AKG IMAGES

Les 10 découvertes de 2022



DR GOPAL MURTI/SPL/PHANIE

Des confins de l'Univers aux grands fonds océaniques, en passant par notre système immunitaire, l'année écoulée a été riche en découvertes scientifiques. Voici une sélection des plus belles parues dans « Sciences et Avenir-La Recherche ».

Par Hugo Jalinière @HugoJaliniere

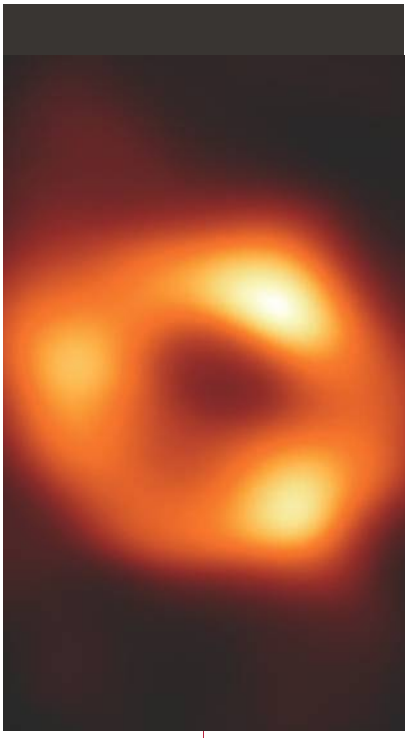
13 JANV.

LE VIRUS EPSTEIN-BARR PEUT DÉCLENCHER UNE SCLÉROSE EN PLAQUES

Une équipe de l'université Harvard (États-Unis) a découvert que le virus d'Epstein-Barr, qui infecte 90 % des adultes dans le monde, est un facteur déclencheur majeur de la sclérose en plaques (SEP), une maladie du système nerveux central *(lire p. 66)*. Leur étude menée sur 10 millions d'individus pendant vingt ans montre que les sujets infectés par ce virus ont un risque 32 fois plus élevé d'avoir un jour la SEP. Une augmentation du risque qui s'expliquerait par des réactions immunitaires spécifiques à l'Epstein-Barr chez des personnes prédisposées génétiquement.
S. et A. *n° 901, mars 2022.*

ALEXIS ROSENFELD

FALKLANDS MARITIME HERITAGE TRUST



EHT COLLABORATION

20 JANV.

9 MARS

12 MAI

UN RÉCIF CORALLIEN PROFOND À TAHITI

Semblable à un champ de roses géantes, ce récif corallien long de 3 km a été découvert dans un état de conservation exceptionnel au large de Tahiti. Deux espèces composent principalement cet écosystème situé entre 35 et 70 m de profondeur : les *Porites rus* et les *Pachyseris speciosa*. Une surprise pour les scientifiques, dans une région qui a connu plusieurs épisodes de mortalité de coraux ces dix dernières années. Cette découverte suggère que les coraux pourraient survivre dans les eaux froides des profondeurs au cours des prochaines décennies de réchauffement planétaire.
S. et A. *n° 901, mars 2022.*

L'ÉPAVE LA PLUS INACCESSIBLE DU MONDE A ÉTÉ RETROUVÉE

L'*Endurance*, le navire du célèbre explorateur britannique Ernest Shackleton, brisé par les glaces en 1915 au large de l'Antarctique, a été retrouvé par 3008 m de fond, dans un état de conservation inespéré. L'épave considérée comme *« la plus inaccessible au monde »* reposait à environ 6 km au sud de la position enregistrée au moment de sombrer, le 21 novembre 1915. Le navire était alors bloqué par les glaces depuis dix mois.
S. et A. *n° 903, mai 2022.*

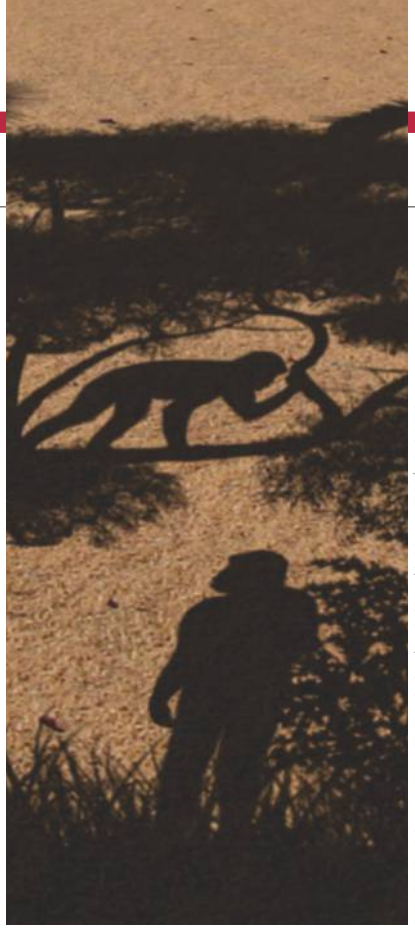
UN TROU NOIR SUPERMASSIF AU CENTRE DE NOTRE GALAXIE SE RÉVÈLE

La collaboration mondiale Event Horizon Telescope (EHT) a dévoilé le premier portrait du trou noir géant, Sagittarius A*, tapi dans notre galaxie, à quelque 27 000 années-lumière de nous. Sa masse équivaut à 4,3 millions de fois celle du Soleil. Cet extraordinaire cliché a été capturé grâce à la mise en réseau de huit des plus puissants radiotélescopes du monde, dont Noema, situé dans les Alpes françaises. Ils ont pu former un télescope virtuel de la taille de la Terre et offrir ainsi la première preuve visuelle de ce trou noir.
S. et A. *n° 904, juin 2022.*

Les 10 découvertes de 2022

RACHEL AUSTIN, UNIVERSITY OF WESTERN AUSTRALIA

WILFRIED THOMAS / STATION BIOLOGIQUE DE ROSCOFF / SU / CNRS



SABINE RIFFAUT, GUILLAUME DAVER, FRANCK GUY / PALEVOPRIM / CNRS - UNIVERSITÉ DE POITIERS

1er JUIN

LE PLUS GRAND ORGANISME VIVANT SUR TERRE

Des scientifiques ont découvert le plus grand clone et même organisme vivant au monde : un vaste réseau de prairies sous-marines de *Posidonia australis* couvrant plus de 200 km² le long de la côte ouest australienne. Le caractère unique de l'organisme est apparu lorsque les écologues ont étudié la diversité génétique des herbiers de la baie de Shark : les analyses ont montré que presque toutes les prairies de *Posidonia australis* de la région sont génétiquement identiques. De fait, contrairement aux autres herbiers marins de la région qui se reproduisent sexuellement, *P. australis* se duplique grâce à un réseau souterrain de racines ramifiées. Et cela depuis 4500 ans !

S. et A. *n° 905/906, juillet-août 2022.*

29 JUIL.

LA « POLLINISATION » EXISTE AUSSI SOUS L'EAU

Pour la première fois, un animal marin, l'idotée, a été identifié comme essentiel à la « pollinisation d'une algue » dans l'eau. Cette « abeille des mers » est un petit crustacé vivant en symbiose avec l'algue rouge gracilaire *(Gracilaria gracilis)*. Une équipe de la station biologique de Roscoff (Finistère) a découvert au microscope électronique des cellules reproductrices collées aux pattes et à la carapace des crustacés. La découverte ébranle nos connaissances sur l'origine de la pollinisation, la fécondation par les animaux ayant pu naître dans le milieu marin bien plus tôt que chez les plantes à fleurs terrestres.

S. et A. *n° 907, septembre 2022.*

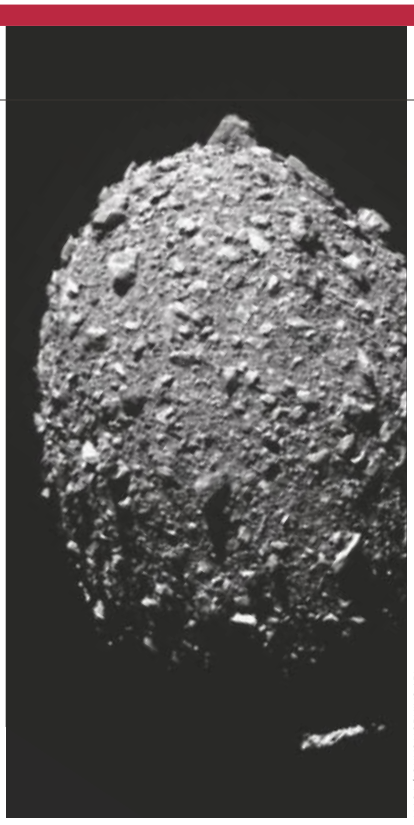
24 AOÛT

TOUMAÏ ÉTAIT BIEN BIPÈDE !

Vingt ans après la découverte de Toumaï, un homininé vieux de 7 millions d'années mis au jour au Tchad en 2001, l'analyse très attendue d'un fémur et de deux os de l'avant-bras révèle que *Sahelanthropus tchadensis* se tenait debout au sol et dans les arbres et se déplaçait parfois en quadrupédie. Ainsi, même si leur bipédie n'était pas exclusive et ne ressemblait pas à la nôtre, elle était très différente de celle des gorilles. Ce travail minutieux montre qu'il s'agit indubitablement d'un précurseur de la lignée humaine. Il évince ainsi *Orrorin tugenensis*, vieux de 6 millions d'années et découvert au Kenya, en tant que plus ancien représentant connu de l'humanité.

S. et A . *n° 908, octobre 2022.*

GETTY IMAGES



NASA/JOHNS HOPKINS APL

NASA, ESA, CSA, STSCI; J. DEPASQUALE, A. KOEKEMOER, A. PAGAN (STSCI)

2 SEPT.

UNE THÉRAPIE RÉDUIT LE DÉCLIN COGNITIF DANS LA TRISOMIE 21

En administrant une hormone à sept patients trisomiques, une équipe franco-suisse a pu améliorer les performances cognitives de six d'entre eux. Une première qui vise les démences dont souffrent 75 % de trisomiques passé 65 ans. C'est en découvrant le lien entre l'hormone GnRH et le chromosome 21 que l'équipe a montré qu'une trisomie empêchait de sécréter l'hormone impliquée dans la cognition. En appliquant cette découverte à des patients âgés de 20 à 50 ans, les chercheurs ont obtenu une amélioration de la compréhension des consignes, du raisonnement et de l'attention. L'IRM a même montré une restauration des connexions neuronales entre les zones visuelles et sensorimotrices.
S. et A. *n° 908, octobre 2022.*

27 SEPT.

LA NASA DÉVIE UN ASTÉROÏDE DE SA TRAJECTOIRE

Lancée à 23 000 km/h, la sonde Dart s'est écrasée sur l'astéroïde Dimorphos lors du tout premier test de défense planétaire mené par la Nasa. Un crash à 11 millions de kilomètres de la Terre qui a permis de modifier la trajectoire du bolide ciblé, preuve qu'il serait possible de dévier un astéroïde menaçant la Terre dans le futur. Les chercheurs surveillent depuis que la nouvelle trajectoire de Dimorphos reste constante. En 2024, l'orbiteur européen Hera sera lancé pour étudier les effets de l'impact sur la structure interne de l'astéroïde.
S. et A. *n° 908, octobre 2022.*

17 NOV.

UNE ANNÉE DANS LA LUMIÈRE DU JAMES-WEBB

En orbite depuis janvier à plus de 1,5 million de kilomètres de la Terre au point de Lagrange L2, le télescope spatial James-Webb a livré ses extraordinaires clichés dès juillet *(ci-dessus, les Piliers de la création)*. Mais c'est en novembre qu'il a permis d'apercevoir les galaxies les plus anciennes jamais identifiées : l'une apparue 350 millions d'années seulement après le Big Bang (il y a 13,8 milliards d'années), l'autre 450 millions d'années après. « *Ces galaxies ont dû commencer à se rassembler peut-être seulement 100 millions d'années après le Big Bang,* a déclaré Garth Illingworth de l'université de Californie à Santa Cruz (États-Unis). *Personne ne s'attendait à ce que l'âge des ténèbres se termine si tôt.* »
S. et A. *n° 907, septembre 2022.*

La capsule spatiale, occupée par des mannequins bardés de capteurs, a achevé sans emcombre sa première orbite lunaire le 1er décembre.

La Nasa de retour au plus près de la Lune

Après cinq jours en orbite autour de notre satellite, la capsule Orion du programme Artemis a commencé son trajet de retour sur Terre.

La capsule Orion de la mission Artemis 1, qui signe le retour de la Nasa vers la Lune un demi-siècle après la dernière mission habitée, a atteint l'apogée de sa trajectoire le 28 novembre dernier, alors qu'elle était distante de 432 210 km de la Terre. De là, ses quatre caméras ont pu observer une éclipse de Terre occultée par la Lune. L'événement a d'ailleurs provoqué une perte transitoire du signal qui permet de suivre sa trajectoire depuis le centre de contrôle de Houston aux États-Unis… Lancée par la puissante fusée SLS le 16 novembre depuis le centre spatial Kennedy en Floride (États-Unis), la première mission du programme Artemis emporte à son bord deux torses bardés de capteurs pour enregistrer le niveau de radiation à l'intérieur de la capsule. L'un de ces torses teste la nouvelle veste de protection Astrorad de Lockheed Martin, qui pourrait équiper les astronautes lors de voyages interplanétaires. À bord d'Orion se trouve aussi un mannequin en combinaison spatiale — surnommé le commandant Moonikin Campos en hommage à l'ingénieur américain Arturo Campos, dont le rôle a été crucial pour ramener Apollo 13 sur Terre. Il permet de comprendre ce que le corps des astronautes devra endurer lors des prochaines missions.

Un test pour le prochain vol habité Artemis 2

Le 25 novembre, Orion s'est insérée sur une orbite lunaire rétrograde (dans le sens inverse de la rotation de la Lune), à 65 000 km d'altitude. Après cinq jours autour de la Lune qu'elle a approchée à 130 km, la capsule a commencé son trajet de retour sur Terre le 1er décembre grâce à une impulsion délivrée par le module de service européen (ESM). À l'heure où nous écrivons ces lignes, la mission Artemis 1 s'est déroulée de façon optimale, ne lui restant plus qu'à réussir son entrée dans l'atmosphère terrestre. Cette dernière étape est la plus risquée : avec une vitesse de rentrée de plus de 36 000 km/h, le bouclier thermique de la capsule est soumis à des frottements et des échauffements colossaux, qui mettent les matériaux à rude épreuve. Ce retour au plus près de la Lune aura permis de tester les performances de la capsule Orion avant le prochain vol Artemis 2, qui doit faire à nouveau un survol de la Lune en 2024 avec, cette fois, quatre astronautes à son bord. ■ **S.R.**

NASA'S JOHNSON SPACE CENTER

La seconde intercalaire va disparaître

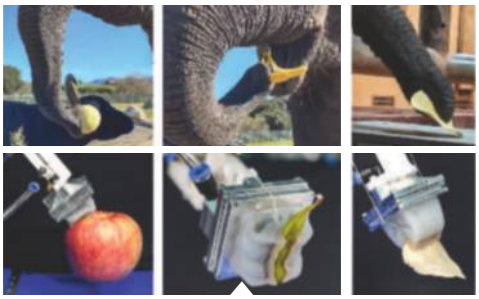
PHYSIQUE Les jours de la seconde intercalaire sont comptés, a annoncé le Bureau international des poids et mesures. Elle est ajoutée régulièrement afin de combler l'écart entre le temps universel (UTC), mesuré par les horloges atomiques, et la rotation de la Terre, qui ne se déroule pas tout à fait en 24 heures *(lire* S. et A. *n° 842)*. L'ajout de cette seconde perturbe les infrastructures numériques, notamment les systèmes de localisation par satellite. **F. N.**

DGA

Sophie Adenot a rejoint l'Agence spatiale européenne.

Deux nouveaux astronautes français

ESPACE L'Agence spatiale européenne (ESA) a présenté à Paris la nouvelle promotion de 17 astronautes sélectionnés parmi 22 500 candidats. Cinq d'entre eux ont été désignés astronautes de carrière et vont commencer leur entraînement au printemps. C'est le cas de la Française Sophie Adenot, lieutenante-colonelle, pilote d'essai sur hélicoptères. Le deuxième Français sélectionné, le pilote de chasse Arnaud Prost, intègre le corps des astronautes de réserve. **S .R.**



KOREA INSTITUTE OF MACHINERY AND MATERIALS (KIMM)

Imitant la trompe du pachyderme, la pince peut saisir des objets de tailles et de formes diverses.

Un bras robot inspiré de l'éléphant

ROBOTIQUE De l'aiguille à coudre aux lourds cartons, ce bras robot imite la façon dont les éléphants ramassent de petits objets en les pinçant avec le bout de leur trompe, ou se saisissent des plus gros en aspirant de l'air profondément à travers leur trompe. La structure souple de la pince contient plusieurs microcanaux, créant un vide à l'intérieur pour fonctionner comme une ventouse. **H. J.**

SOURCE : SUNG-HYUK SONG, INSTITUT CORÉEN DES MACHINES ET DES MATÉRIAUX, CORÉE DU SUD.

EN DEUX MOTS

VESTIGE Deux plongeurs à la recherche des restes d'un avion disparu dans le triangle des Bermudes ont retrouvé un morceau de la navette Challenger qui s'était désintégrée peu après son décollage en 1986. **INFORMATIQUE** La société française Quandela est la première d'Europe à mettre sur le marché un ordinateur quantique, Mosaiq, accessible par un cloud. **DATA** Thales Alenia Space va étudier la faisabilité d'une installation de data centers en orbite alimentés par des centrales solaires en dehors de l'atmosphère terrestre.

Les magnétoiles possèdent une surface solide

Cette catégorie d'étoiles à neutrons serait aussi dépourvue d'atmosphère.

Une étude réalisée à partir des données du satellite de la Nasa Imagine X-Ray Polarimetry Explorer (IXPE) révèle que les magnétoiles (ou magnétars), une catégorie d'étoiles à neutrons dotées d'un très fort champ magnétique, posséderaient une surface solide, comme une fine croûte, et seraient dépourvues d'atmosphère. « *Ces conclusions ont été obtenues en étudiant pour la première fois la polarisation de la lumière X émise par l'astre, autrement dit la direction de vibration du champ électrique de la lumière,* explique Frédéric Marin, astrophysicien à l'Observatoire astronomique de Strasbourg, qui a participé à l'étude. *Les informations tirées de ces données inédites ont permis d'affiner nos modèles, et montrer par exemple que l'émission X proviendrait d'une ceinture de fer passant par le pôle équatorial magnétique, chauffée à 5,5 millions de degrés, et baignant dans un plasma fortement magnétisé.* » **F. N.**

NASA'S GODDARD SPACE FLIGHT CENTER/CHRIS SMITH (USRA)

Astre extrêmement dense, la magnétoile est dotée d'un très fort champ magnétique (vue d'artiste).

CARNEGIE MELLON UNIVERSITY

La machine utilise l'apprentissage par renforcement et la vision par ordinateur pour se déplacer.

Un robot chien se guide sans carte

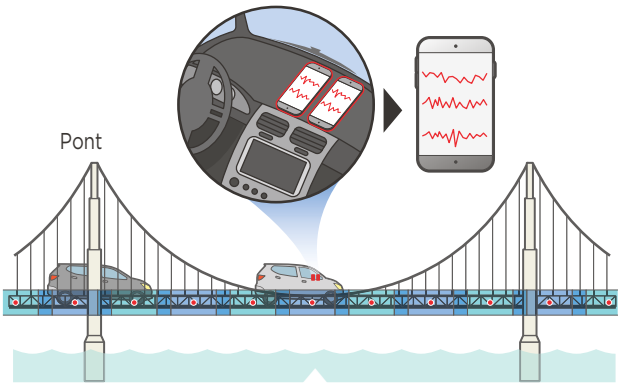
ROBOTIQUE Cette machine quadrupède progresse sur tout type de terrain en autonomie grâce à deux techniques : la vision par ordinateur et la méthode d'intelligence artificielle dite d'apprentissage par renforcement, ou essai-erreur. Les algorithmes sont entraînés en environnements simulés, puis le robot adapte son pas en fonction des informations captées en temps réel par la caméra. **A. D.** sciav.fr/911robot

SOURCE : ANANYE ARGAWAL, UNIVERSITÉ CARNEGIE MELLON, PITTSBURGH, ÉTATS-UNIS.

908 jours

Le temps passé en orbite par le drone spatial X-37B

ESPACE La mystérieuse navette spatiale sans pilote de la force spatiale des États-Unis a atterri le 12 novembre au centre spatial Kennedy en Floride au terme d'un voyage de 908 jours, 21 heures et 8 minutes, un record ! Opérant à des altitudes comprises entre 240 et 805 kilomètres, l'engin de près de 10 mètres de long a été le lieu de diverses expériences scientifiques… dont on ne saura rien, la mission de l'armée américaine étant classée « secret-défense ». **H. J.**



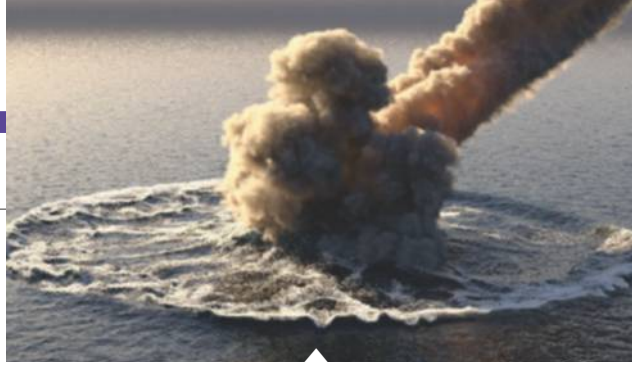
BRUNO BOURGEOIS

Les données collectées en roulant suffisent pour surveiller la stabilité de l'édifice.

Deux smartphones pour contrôler la structure d'un pont

INGÉNIERIE Deux appareils à bord d'une voiture peuvent remplacer 240 capteurs fixes utilisés sur les ouvrages d'art pour la maintenance. Des tests sur le Golden Gate à San Francisco (États-Unis) et sur un échangeur autoroutier italien ont montré que les données, collectées par les smartphones grâce à un accéléromètre, un gyroscope et un GPS, étaient exploitables pour détecter l'évolution de la structure (torsion, désaxage…). **A. D.**

SOURCE : THOMAS J. MATARAZZO, MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY, ÉTATS-UNIS.



SIRAJ & LOEB 2019

CNEOS-2014-01-08 proviendrait de l'extérieur du Système solaire, selon deux chercheurs (vue d'artiste de sa chute).

Un objet céleste qui fait polémique

La communauté scientifique reste prudente face au manque de données concernant un mystérieux objet tombé dans l'océan Pacifique en 2014.

Un mystérieux objet s'est écrasé dans l'océan Pacifique en 2014, à 200 kilomètres des côtes de la Papouasie-Nouvelle-Guinée. Baptisé CNEOS-2014-01-08, il ne mesure que 45 cm de large et serait arrivé sur Terre à la vitesse très élevée de 216 000 km/h en suivant une trajectoire hyperbolique ; preuve de son origine interstellaire, selon deux chercheurs américains qui publient leur hypothèse dans *The Astrophysical Journal*. Ce serait ainsi le premier objet venu de l'extérieur du Système solaire repéré à ce jour, avant l'astéroïde Oumuamua (2017) et la comète Borisov (2019). Problème : certaines données identifiant ce météore viennent de satellites espions du département américain de la Défense, et sont donc secrètes, ce qui pousse la communauté scientifique à la prudence vis-à-vis de cette hypothèse d'Avi Loeb, chercheur controversé qui soutient notamment qu'Oumuamua est un vaisseau. L'astronome souhaite toutefois monter une expédition d'ici à fin 2023 pour draguer le fond océanique à la recherche de fragments de cet objet. **F. D.**

Un bouclier thermique gonflable

ESPACE La Nasa, l'agence spatiale américaine, a testé avec succès un nouveau type de bouclier thermique, lâché depuis une orbite basse avant d'être récupéré au large d'Hawaii dans l'océan Pacifique. Avec ses 6 mètres de diamètre, il est comprimé pour le transport dans l'espace et se gonfle ensuite sur commande avant une rentrée atmosphérique. Il permettrait de faire atterrir sur Mars des charges beaucoup plus massives qu'avec les boucliers rigides actuels, comme une capsule abritant des astronautes. **F. D.**

NASA

Baptisé Loftid, le système permettrait de faire atterrir sur Mars des charges massives.

EDF

Devenons l'énergie qui change tout.

IL NE SERA PAS MIEUX CHARGÉ SI ON LE LAISSE BRANCHÉ.

Éteindre vraiment ou débrancher ses appareils, c'est jusqu'à 5 %* d'économies sur sa facture.

Je baisse **J'éteins** **Je décale**

Découvrez les gestes utiles pour vous et pour tous.

RCS PARIS 552 081 317

Chaque geste compte
ÉCONOMISONS L'ÉNERGIE

edf.fr/gestesutiles

L'énergie est notre avenir, économisons-la !

*Source EDF : Estimation août 2022 sur la base d'une sélection d'équipements multimédia et machines, pour un client TRV option base. Selon l'ADEME – « Guide pratique : réduire sa facture d'électricité » – juillet 2022 – l'ensemble des appareils en veille peut représenter jusqu'à 15 % de la facture d'électricité (hors chauffage et eau chaude).

PIERRE VERNAT / BIOSPHOTO

« Toxoplasma gondii » rendrait plus téméraires et agressifs les loups infectés.

Un parasite transforme des loups en chefs de meute

Une étude démontre les effets du parasite de la toxoplasmose sur le comportement de « Canis lupus ».

Le parasite de la toxoplasmose influe sur le comportement des loups infectés au point de les conduire à prendre la tête des meutes. C'est ce que montre une étude publiée dans *Communications Biology*, qui a suivi pendant vingt-six ans 229 loups gris (*Canis lupus*) du parc national de Yellowstone (États-Unis). En principe, *Toxoplasma gondii* est un parasite qui a pour hôte définitif les félins. Mais il peut se retrouver de façon accidentelle chez des hôtes intermédiaires tels que les souris, les loups ou les humains. Il peut notamment s'avérer dangereux pour le fœtus lorsque la femme enceinte est contaminée. Les loups gris du parc Yellowstone, eux, vivent à proximité des pumas — connus pour être porteurs de *Toxoplasma gondii* — dont ils volent parfois les proies, sources potentielles d'infection par le parasite.

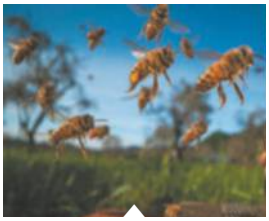
Des souris infectées se jettent sur les chats

D'après l'analyse comportementale, spatiale et sérologique de ces 229 loups, les scientifiques ont remarqué que ceux infectés par le parasite sont 11 fois plus susceptibles de quitter le nid familial dès le plus jeune âge pour fonder une nouvelle meute, et 46 fois plus susceptibles de devenir chef de meute. Cette étude est l'une des rares à montrer les effets du parasite sur le comportement des animaux sauvages et, selon Dan Macnulty, biologiste à l'université d'État de l'Utah (États-Unis), elle *« fournit des preuves irréfutables de l'influence profonde que les agents pathogènes peuvent avoir sur l'écologie et le comportement des populations d'animaux sauvages »*. D'autres travaux avaient montré que les souris infectées par le parasite connaissaient, elles, un surcroit de curiosité et une diminution de la peur les conduisant plus sûrement dans la gueule des chats… où le parasite peut alors se reproduire. ■ **F. E.**

Un piège à CO_2 bon marché

POLLUTION Pour capter le gaz carbonique de l'air, le formate d'aluminium est un matériau efficace, très spécifique et recyclable, ont découvert des chimistes à Singapour. Facile à fabriquer en quantité sous forme de granulés, ce solide poreux s'avère peu coûteux. Il pourrait servir à extraire le CO_2 des fumées dégagées par les centrales thermiques, selon les chercheurs. **P. K.**

SOURCE : HAYDEN EVANS, INSTITUT NATIONAL DES NORMES ET DE LA TECHNOLOGIE, ÉTATS-UNIS.



ZUMA/ABC/ANDIA.FR

Un essaim d'abeilles, en raison de sa densité, crée une puissante charge électrique.

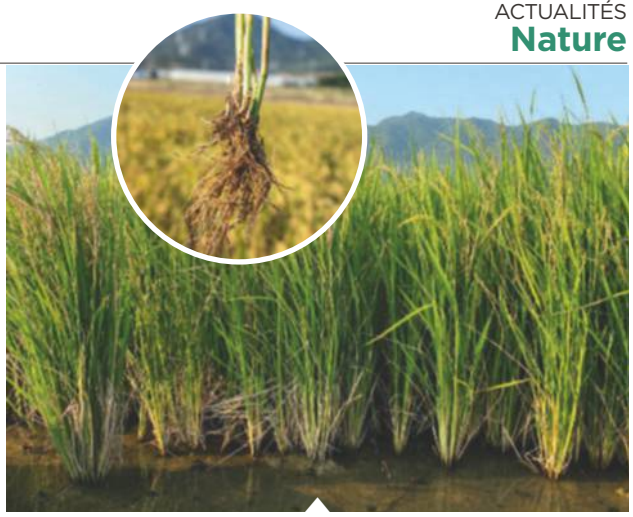
Les insectes génèrent de l'électricité

ENTOMOLOGIE En mesurant les champs électriques à proximité d'essaims d'abeilles, des chercheurs ont découvert que les insectes peuvent produire une charge électrique aussi puissante que celle d'un nuage orageux. C'est la première fois qu'est mesurée leur contribution à l'électricité atmosphérique. Les nuages de criquets, forts parfois de 80 millions d'individus vrombissant sur 2 kilomètres carrés, en seraient les plus gros contributeurs. **H. R.**

SOURCE : ELLARD HUNTING, UNIVERSITÉ DE BRISTOL, ROYAUME-UNI.

Un riz pérenne pour soulager la planète et les humains

Des chercheurs chinois ont créé une nouvelle variété qui peut être récoltée quatre années de suite avec le même rendement que le riz repiqué.



SHENZHEN RESEARCH INSTITUTE BGI-RESEARCH

Les racines de PR23 (en médaillon) mettent en évidence que la plante a repoussé après plusieurs récoltes.

Depuis des millénaires, le riz cultivé est une plante qui doit être repiquée chaque année pour garder sa productivité, ce qui exige une abondante main-d'œuvre, le plus souvent des femmes et des enfants, et beaucoup de temps. Des chercheurs chinois de l'université de Yunnan ont mis au point après vingt ans de sélections une variété pérenne de riz qui pourrait révolutionner sa culture dans toute l'Asie. Baptisé PR23, il est issu du croisement d'un riz cultivé avec un autre sauvage et pérenne d'Afrique, et peut être récolté quatre années de suite avec le même rendement global que le riz repiqué. De plus, le labour réduit et les racines pérennes limitent l'érosion du sol, lequel, enrichi en azote, a moins besoin d'engrais. Moins de labour permettrait aussi au sol de limiter la production microbienne de méthane, celle des rizières contribuant fortement à l'augmentation de ce gaz à effet de serre dans l'air. **P. K.**

TAKUMA HAGIHARA ET AL

À VOIR SUR LE NET

La vivacité du mimosa pudique expliquée par la vidéo

BOTANIQUE À l'aide d'impressionnantes vidéos en fluorescence, des chercheurs japonais ont expliqué comment le mimosa pudique *(Mimosa pudica)*, une plante originaire d'Amérique, peut réagir en quelques secondes à une menace. Ce mimosa augmente la quantité d'ions calcium dans ses cellules pour modifier leur contenance en eau, de sorte que les feuilles raccourcissent, entraînant leur repli. **A.-S. T.**

SOURCE : TAKUMA HAGIHARA, UNIVERSITÉ DE SAITAMA, JAPON.

Pour voir la vidéo, scannez ce QR code

Alerte aux crapauds hallucinogènes

HERPÉTOLOGIE *« Arrêtez de lécher les crapauds ! »*, c'est la consigne insolite désormais diffusée auprès des visiteurs du parc national de Saguaro dans le désert de Sonora, au Nouveau-Mexique (États-Unis). Les batraciens en question sont de l'espèce *Bufo alvarius*, connue pour sécréter une toxine sur sa peau. Un venin qui éloigne les prédateurs mais dont la concentration en 5-MeO-DMT, un puissant hallucinogène, attire aussi les touristes amateurs de sensations fortes. **H. R.**

MICHEL GUNTHER/BIOSPHOTO

◄ **Le venin du « Bufo alvarius »** contient une substance psychoactive très puissante.

Le pergélisol sibérien dégaze de plus en plus de méthane

GÉOLOGIE Le pergélisol des régions arctiques libère son méthane de plus en plus tôt en été. Mesuré sur plus de seize ans au nord de la Sibérie, ce dégagement est lié au développement plus précoce de la végétation, qui facilite l'activité microbienne à l'origine de ce puissant gaz à effet de serre. La contribution de ces régions à la forte hausse du méthane atmosphérique actuelle est encore mineure mais va s'accentuer à l'avenir. **P. K.**

PAOLO VERZONE / AGENCE VU

La végétation, de plus en plus précoce, accélère la libération du méthane.

SOURCE : NORMAN ROESSGER, UNIVERSITÉ DE HAMBOURG, ALLEMAGNE.

Un archipel de prospérité pour les raies manta

OCÉANOGRAPHIE Alors qu'un déclin mondial des raies océaniques est observé ces cinquante dernières années, les raies manta de récif *(Mobula alfredi)* de l'archipel indonésien des Raja Ampat se portent très bien, selon une étude de la dynamique de leur population menée entre 2009 et 2019. Un cas unique au monde qui s'explique en grande partie par l'efficacité des aires marines protégées instaurées dans l'archipel. **H. J.**

SOURCE : EDY SETYAWAN, UNIVERSITÉ D'AUCKLAND, NOUVELLE-ZÉLANDE.

REINHARD DIRSCHERL/BIOSPHOTO

Cette espèce de poisson cartilagineux peut mesurer jusqu'à 5 m de large.

3,8 millions Le nombre de barils de pétrole épargnés chaque jour par la voiture électrique

ÉNERGIE Les véhicules électriques permettent d'économiser 3,8 % des 100 millions de barils consommés quotidiennement en 2022. 13 % des voitures, camions, bus et deux-roues neufs vendus cette année étaient électriques, contre 8,7 % en 2021, a calculé le centre de recherche Bloomberg. La capacité globale de production de batteries lithium-ion a grimpé, elle, de 38 % en 12 mois. **L. C.**

Un coquillage qu'on croyait disparu refait surface

BIODIVERSITÉ L'espèce n'était décrite qu'à partir de fossiles datant du pléistocène (-2,5 millions d'années à -11 700 années) et les experts la pensaient disparue depuis 40 000 ans, mais *Cymatioa cooki* est bien vivante. Cette petite palourde qui ne dépasse guère les 10 mm a été observée pour la première fois près de Santa Barbara en Californie (États-Unis). **J. I.**

SOURCE : PAUL VALENTICH-SCOTT, MUSÉUM D'HISTOIRE NATURELLE DE SANTA BARBARA, ÉTATS-UNIS.

JEFF GODDARD

« Cymatioa cooki » a été observée près de Santa Barbara (États-Unis).

La COP 27 entérine l'aide aux pays pauvres

Les 195 États membres de la convention de l'ONU sur le climat vont créer un fonds spécial destiné à indemniser les dégâts et pertes causés aux pays les plus pauvres par des événements extrêmes.

C'est acté : le changement climatique, c'est maintenant. En instaurant un fonds spécifique consacré aux « pertes et dommages » affectant d'ores et déjà les pays du Sud, les 195 États membres de la convention de l'ONU sur le climat reconnaissent que les impacts de la hausse des températures interviennent dès aujourd'hui et non pour la fin du siècle. Avec cette décision, prise lors de la COP 27 en novembre dernier à Charm el-Cheikh (Égypte), les négociateurs bouclent la première partie de l'accord de Paris. Entre 2015 et 2022, ils ont en effet construit le cadre juridique international nécessaire pour organiser les efforts entre États. La COP 28 sera la première de l'engagement et de la mise en œuvre. En novembre 2023 à Dubaï (Émirats arabes unis), les États devront y présenter les premiers résultats de leur action contre les émissions de gaz à effet de serre. Ce « bilan global » constitue donc un rendez-vous majeur pour bien mesurer l'écart entre ce qui est fait et ce qu'il faudrait faire. **L. C.**

CLAUDIA LACAVE/HANS LUCAS/HANS LUCAS VIA AF

Un tiers des pays africains sont très exposés au changement climatique (ici au Kenya) alors que l'Afrique n'est responsable que de 3 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre.

LES ACQUIS DES COP

- **COP 21 (2015, Paris, France) :** Maintenir l'augmentation des températures à 2 °C, si possible 1,5 °C (Accord de Paris »).
- **COP 23 (2017, Bonn, Allemagne) :** intégration de l'agriculture aux débats (« dialogue de Koronivia »).
- **COP 24 (2018, Katowice, Pologne) :** règle commune de mesure et rapport des progrès réalisés par les États dans leur réduction des émissions (« boîte à outils »).
- **2020 :** première publication des objectifs de chaque État (« contributions déterminées au niveau national », CDN).
- **2021 (COP 26, Glasgow, Royaume-Uni) :** instauration d'un marché mondial du carbone (« article 6 »).
- **2022 (COP 27, Charm el-Cheikh) :** adoption d'un fonds pour « les pertes et dommages » provoqués par les impacts du changement climatique subis par les pays les moins avancés.

FACE AUX ÉPIDÉMIES

DE LA PESTE NOIRE À NOS JOURS

© Droits réservés / Archives nationales / Atelier Deltaèdre

EXPOSITION GRATUITE
12 OCTOBRE 2022
> 6 FÉVRIER 2023

Archives nationales
60, rue des Francs-Bourgeois
75003 Paris
archives-nationales.culture.gouv.fr

lundi > vendredi - 10h00 > 17h30
samedi > dimanche - 14h00 > 17h30
Fermé le mardi,
le 25 décembre et le 1er janvier

MINISTÈRE DE LA CULTURE
Liberté
Égalité
Fraternité

ARCHIVES NATIONALES

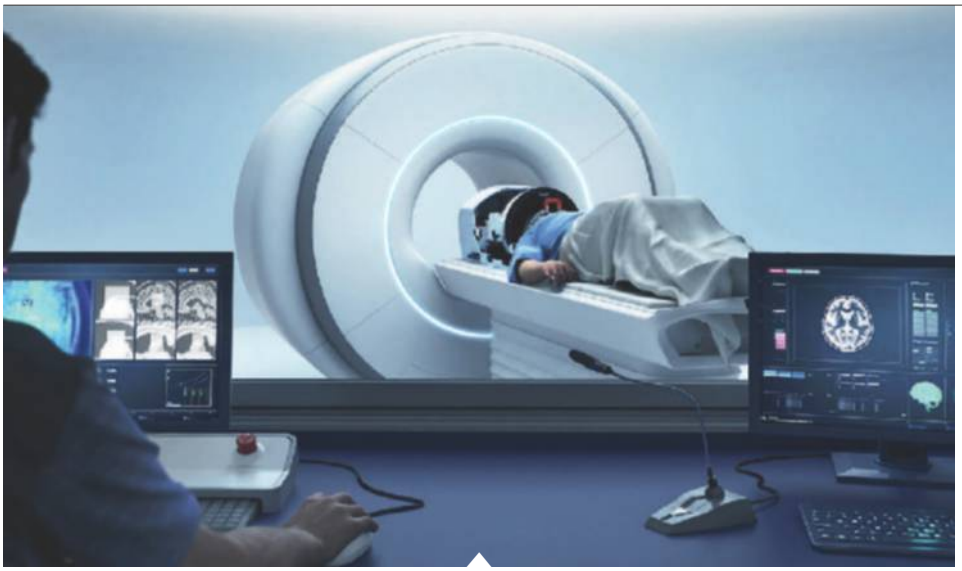
Partenaires

Louis Pasteur

PUBLIC SÉNAT

SCIENCES AVENIR La Recherche

Insert



INSIGHTEC

Les tissus du noyau thalamique à l'origine du trouble sont détruits à haute température par les ultrasons.

Des ultrasons pour traiter le tremblement essentiel

Une opération non invasive, guidée par IRM dans le cerveau, détruit les neurones en cause dans ces mouvements incontrôlés.

C'est un espoir inédit que des médecins américains viennent d'apporter aux personnes handicapées par un tremblement essentiel des mains. Ce symptôme, dont l'origine est inconnue et qui diffère des tremblements de la maladie de Parkinson, peut devenir handicapant au point d'empêcher la personne de tenir un verre, de manger ou de téléphoner. Il toucherait en France 30 000 personnes, qui ne sont que partiellement soignées par des médicaments. En cause : une région défaillante du cerveau, le noyau thalamique. Grâce à des ultrasons, les médecins ont réussi à détruire avec précision les tissus par augmentation de la température. Cinq ans après l'opération, les tremblements des 40 patients inclus dans l'étude ont toujours disparu à plus de 70 %, preuve d'un bénéfice durable.

Une équipe française formée à la technique

« Cet essai valide une technique apparue en 2013 qui présente plusieurs avantages, notamment le fait qu'elle ne nécessite pas de chirurgie intracrânienne ni de suivi à long terme des patients », précise Marie Vidailhet, qui dirige une équipe de recherche sur le contrôle du mouvement à l'Institut du cerveau, à Paris. L'opération par ultrasons focalisés est guidée dans le cerveau par IRM. Non invasive, elle offre un résultat immédiat en « brûlant » les neurones du noyau thalamique en cause dans les tremblements. En France, une équipe a été formée et a déjà pu l'appliquer avec succès à 15 patients dans un cadre de recherche à l'hôpital de La Pitié-Salpêtrière, à Paris. Les équipes soignantes attendent désormais les autorisations pour la mise en œuvre de cette thérapie en soin courant. *« Nous avons de très nombreuses demandes de patients,* souligne Marie Vidailhet, *et beaucoup attendent l'arrivée de ce traitement efficace. »* ■

P. K.

48 500 ans

L'âge du plus vieux virus réactivé

MICROBIOLOGIE Des scientifiques français sont parvenus à dégeler et faire se reproduire en laboratoire des virus anciens préservés dans le pergélisol, ce sol perpétuellement gelé. En tout, 13 virus inconnus ont été collectés sur sept sites en Sibérie. Le plus ancien était en dormance depuis 48 500 ans. **H. J.**

SOURCE : JEAN-MARIE ALEMPIC, UNIVERSITÉ D'AIX-MARSEILLE, FRANCE.

Le déclin des spermatozoïdes en question

REPRODUCTION Selon une étude américaine, la concentration en spermatozoïdes du liquide séminal humain aurait été divisée par deux en 50 ans, passant de 101 millions de gamètes par millilitre dans les années 1970 à 49 en 2018. Encore bien au-dessus, toutefois, des 15 millions en dessous desquels l'OMS juge un sperme anormal. Un résultat à prendre avec prudence tant les techniques d'analyses ont évolué. **H. J.**

SOURCE : HAGAI LEVINE, UNIVERSITÉ HÉBRAÏQUE DE JÉRUSALEM, ISRAËL.

BSIP

Le nombre de gamètes mâles aurait été divisé par deux en 50 ans chez l'homme.

*À force d'entendre qu'on ne vaut rien, on finit par le croire.

APPRENTIS D'AUTEUIL

À Apprentis d'Auteuil, nous voyons le meilleur en chacun des 30 000 jeunes[1] que nous accompagnons jour après jour dans nos 300 établissements et dispositifs. Aidez-les à construire leur avenir.

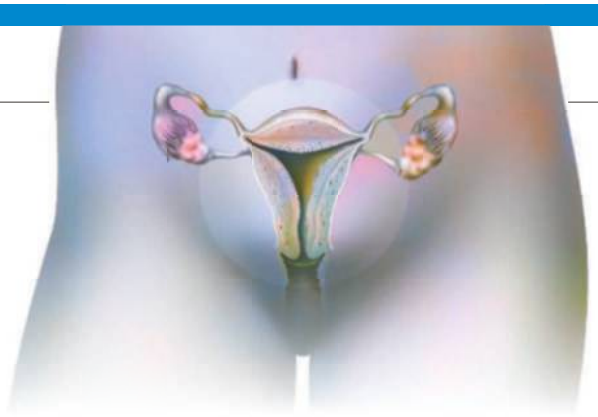
LA CONFIANCE PEUT SAUVER L'AVENIR

FAITES UN DON sur www.apprentis-auteuil.org

(1) Selon le rapport d'activité Apprentis d'Auteuil 2021.
Agence Marcel - © Aurélien Chauvaud.

Le premier rapport sexuel active l'immunité vaginale

Les scientifiques ont mesuré la concentration de 19 molécules favorisant les réactions immunitaires.



L'exposition à des antigènes étrangers lors des rapports sexuels avec pénétration provoquerait chez les jeunes femmes une réaction inflammatoire vaginale.

JACOPIN/BSIP

Un bouleversement immunitaire intervient dans les tissus vaginaux des jeunes femmes après leur premier rapport sexuel. C'est ce que montre une étude menée chez 95 jeunes femmes âgées de 16 à 20 ans au Kenya. Ces échantillons ont été collectés dans les mois précédant et suivant leur premier rapport avec pénétration. Les scientifiques y ont mesuré la concentration de 19 molécules connues pour être médiatrices de réactions immunitaires. Toutes avaient augmenté après le premier rapport. *« Nous ne savons pas si ce que nous observons est un niveau d'inflammation nuisible ou s'il vaut mieux le considérer comme une simple augmentation de l'activité immunitaire »*, précise Sean Hughes, chercheur à l'université de Washington (États-Unis) et premier auteur de l'étude. Mais la question est d'importance, tant les adolescentes et les jeunes femmes *« courent un risque disproportionné de contracter une infection sexuellement transmissible (IST) par rapport aux femmes plus âgées »*, ajoute-t-il. **C. G.**

EN DEUX MOTS

VACCIN Un anticorps de synthèse, le nirsevimab, premier médicament empêchant les formes graves de bronchiolite, sera disponible en France au second semestre 2023. **LONGÉVITÉ** Les bébés nés en France en 2022 peuvent espérer vivre 93 ans pour les filles et 90 ans pour les garçons, soit 37 et 42 ans de plus que ceux nés en 1900, selon une étude. **DIAGNOSTIC** Des chercheurs chinois ont identifié un biomarqueur de la maladie d'Alzheimer, l'acide formique, présent dans l'urine, laissant envisager la mise au point d'un test de dépistage.

Le son inaudible qui fait danser

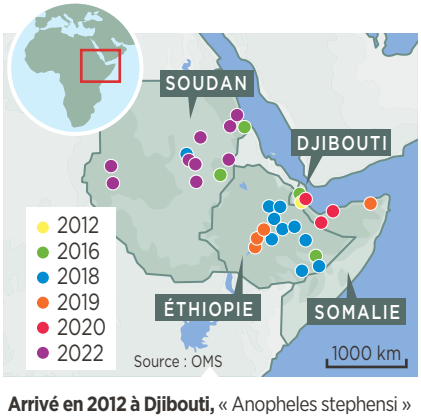
NEUROSCIENCES Pour mesurer l'effet des infrabasses sur des danseurs, un concert de musique électronique a été transformé en laboratoire géant. Les mouvements des participants étaient enregistrés en temps réel, tandis que l'intensité des infrabasses variait subrepticement. Résultat : en moyenne, les mouvements augmentaient de 12 % quand celles-ci étaient activées. La preuve que ces fréquences inaudibles pour l'oreille humaine mobilisent notre système moteur. **H. R.**

SOURCE : DANIEL CAMERON, UNIVERSITÉ MCMASTER, CANADA.

Un moustique résistant menace la lutte contre le paludisme

INFECTIOLOGIE **L'épidémie inhabituelle de paludisme qui a frappé l'Éthiopie début 2022 est due à l'arrivée, en Afrique de l'Est, d'une espèce de moustiques venue d'Asie et résistante aux insecticides. Détecté en 2012 à Djibouti, *Anopheles stephensi* s'est depuis propagé à quatre autres pays. À l'inverse des autres espèces vectrices du parasite en Afrique, il affectionne les zones urbaines, compliquant encore la lutte contre les épidémies.** **H. J.**

SOURCE : FITSUM TADESSE, INSTITUT DE RECHERCHE ARMAUER-HANSEN, ÉTHIOPIE.



BRUNOBOURGEOIS

Arrivé en 2012 à Djibouti, « Anopheles stephensi » se propage rapidement en Afrique de l'Est.

Baisse des cas de démence sénile aux États-Unis

ÉPIDÉMIOLOGIE La proportion des cas de démence est passée de 12 à 8 % chez les Américains de plus de 65 ans entre 2000 et 2016, indique une vaste enquête. Deux facteurs retarderaient l'apparition des démences en augmentant les ressources cérébrales : un niveau d'éducation de plus en plus élevé et une plus grande proportion de femmes entrant sur le marché du travail. **P. K.**

SOURCE : PETER HUDOMIET, RAND CORPORATION, ÉTATS-UNIS.

Le cannabis altère plus les poumons que la cigarette

PNEUMOLOGIE Fumer du cannabis est plus souvent associé à une dilatation des bronches et une dégradation du tissu pulmonaire que fumer des cigarettes, selon une étude. Cette inflammation chronique s'expliquerait par l'absence de filtre et une inhalation plus profonde de la fumée. **P. K.**

SOURCE : LUKE MURTHA, HÔPITAL UNIVERSITAIRE D'OTTAWA, CANADA.

PASCAL BROZE/REPORTERS-REA

L'absence de filtre et une inhalation plus profonde de la fumée entraîneraient une plus grande inflammation des poumons.

3,5 millions de dollars

Le prix du nouveau médicament le plus cher du monde

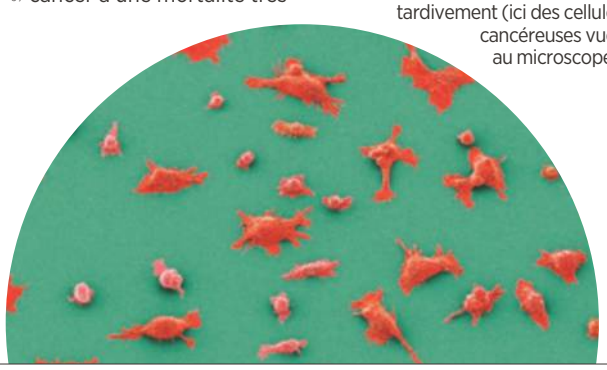
PHARMACOLOGIE La FDA, autorité de régulation du médicament aux États-Unis, a approuvé la mise sur le marché de l'Hemgenix par le laboratoire CSL Behring, un traitement contre l'hémophilie B. Prix de la dose, efficace à vie : 3,5 millions de dollars. Un coût qui bat le record de 2,8 millions de dollars détenu jusqu'ici par la thérapie génique de Bluebird Bio contre la bêta-thalassémie. **C. L.**

Deux indices avant-coureurs du cancer du pancréas

ONCOLOGIE Une forte diminution du poids ou une nette augmentation de la glycémie sont des indicateurs d'un risque accru de cancer du pancréas un à deux ans avant son diagnostic, montre une vaste étude épidémiologique menée au Royaume-Uni. Ce cancer a une mortalité très élevée car il est souvent décelé trop tard, ses symptômes étant peu visibles. Des indices alertant plus tôt pourraient changer la donne. **P. K.**

SOURCE : AGNIESZKA LEMANSKA, UNIVERSITÉ DE SURREY, ROYAUME-UNI.

STEVE GSCHMEISSNER/SPL/PHANIE



Le diagnostic du cancer du pancréas est souvent posé tardivement (ici des cellules cancéreuses vues au microscope).

www.lesproduitsdumois.com

PERTE DE CONCENTRATION ET DE MÉMOIRE ?

Les comprimés naturels **Cerveau Clair** apportent en quelques heures des vitamines et des nutriments aux zones de la concentration et de la mémoire du cerveau.

Ils contiennent de la L-théanine issue du Thé vert, des extraits de Grenade, de Pin maritime et de Noix, ainsi que des Vitamines B et de l'Iode, dont l'efficacité pour améliorer les performances mentales et les fonctions cognitives (mémoire, attention, concentration) a été démontrée dans de nombreuses études scientifiques.

Ils protègent également le cerveau du vieillissement et réduisent la fatigue.

Cerveau Clair tonifie et revitalise le cerveau pour aider à garder les idées claires !

■ En pharmacie - Boîte de 60 comprimés - ACL 2951863 - Convient aux végétaliens - Questions ? New Nordic répond au 01 85 12 12 12 (tarif local) www.vitalco.com

RETROUVER BIEN-ÊTRE ET SÉRÉNITÉ

Zenytud est une formule à la fois puissante et naturelle, idéale en situation de mal-être et notamment de burn-out.

Elle associe des extraits végétaux concentrés (Rhodiola, Safran) à Lactium® (un ingrédient breveté) ainsi que des vitamines (B3, B6, B9) et minéraux essentiels (Magnésium).

Ensemble, ils agissent sur les neurotransmetteurs les plus importants dans les troubles anxieux (GABA, sérotonine, dopamine) tout en **favorisant des fonctions psychologiques normales, une réduction de la fatigue et une humeur positive.**

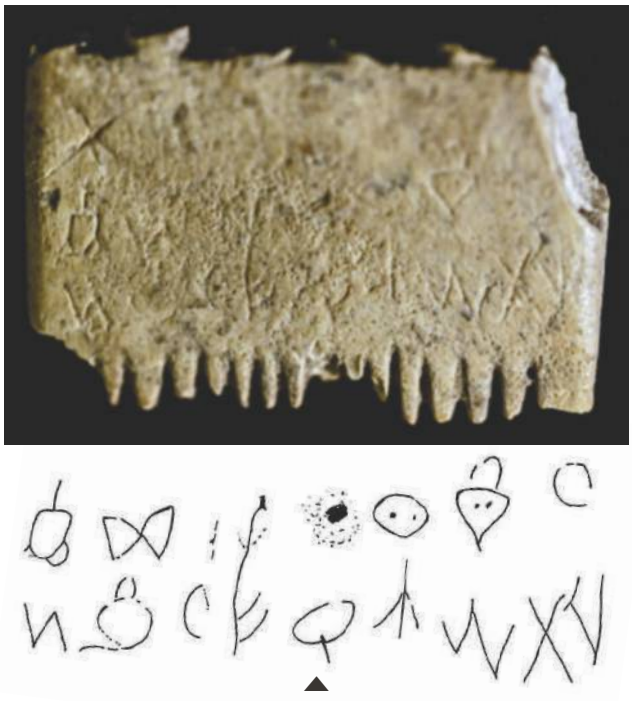
Sans effet indésirable ni accoutumance.

■ En pharmacie - Boîte de 60 gélules végétales. ACL 6024255 Plus d'infos au 01 83 96 83 01 (tarif local) - zenytud.com Formule très concentrée, demandez un avis médical si vous prenez des médicaments.

Une incantation contre les poux sur un peigne

L'inscription sur cet objet découvert en Israël est la plus ancienne phrase connue écrite en cananéen.

« *Puisse cette défense extirper les poux des cheveux et de la barbe.* » Telle est l'incantation gravée sur un peigne, vieux de 3700 ans, mis au jour à Tel Lachish, en Israël, par une équipe de l'université hébraïque de Jérusalem et de l'université Adventiste du Sud aux États-Unis. Ce petit objet de 3,5 sur 2,5 cm est crénelé des deux côtés : de l'un partent six dents épaisses et espacées qui servaient probablement à démêler les nœuds dans les cheveux. L'autre avec 14 dents plus fines et rapprochées, dont il ne reste que la base, permettait d'éliminer les parasites et leurs œufs, à l'instar des peignes antipoux vendus de nos jours. Son usage est attesté par l'identification, au microscope, de débris de membrane chitinique de lentes à la base des dents.



MENAHEM KAHANA / AFP - DANIEL VAINSTUB ET AL.

Vieux de 3700 ans, le peigne comporte une inscription gravée en cananéen, dont la transcription (en bas) indique le souhait de son détenteur de se débarrasser des poux. Une preuve de l'utilisation de l'alphabet à cette date dans les activités quotidiennes.

De l'ivoire probablement importé d'Égypte

L'objet a été découvert en 2017 mais les lettres, gravées très superficiellement et mesurant entre 1 et 3 mm de largeur, n'ont été remarquées qu'en 2022, lors d'un traitement de nettoyage. Au nombre de 17, elles forment sept mots distincts. Une fois révélée, l'inscription a été déchiffrée par Daniel Vainstub de l'université Ben Gourion (Israël), spécialiste en épigraphie sémitique. Et elle constitue rien de moins que la première phrase complète connue écrite en cananéen. Les langues cananéennes, parlées par les peuples sémitiques des régions de Canaan et du Levant, sont les premières pour lesquelles l'usage de l'alphabet est prouvé. Elles furent couramment utilisées jusqu'au IVe siècle avant de disparaître, hormis l'hébreu.

Les peignes anciens étaient fabriqués à partir de bois, d'os ou d'ivoire. Des analyses ADN indiquent que celui-ci a été façonné à partir d'une défense d'éléphant. Son origine est incertaine mais, étant donné l'absence d'éléphants dans la région de Canaan, il a probablement été importé d'Égypte, où les poux sévissaient aussi, y compris dans les couches les plus hautes de la société. ■ **J. I.**

Une nouvelle extinction de masse ?

ÉVOLUTION Il y a environ 550 millions d'années, une importante crise biologique a conduit à une baisse de 80 % de la biodiversité connue, peut-être à cause d'une chute du taux d'oxygène. Selon le temps qu'a pris ce bouleversement — une donnée qui reste à préciser —, il pourrait s'agir d'une extinction de masse non répertoriée. Dans ce cas, celle que connaît la planète actuellement serait la septième connue, et non la sixième. **FI. N.**

SOURCE : SCOTT EVANS, VIRGINIA TECH, ÉTATS-UNIS.

Une pièce d'or prouverait l'existence d'un empereur romain

ARCHÉOLOGIE **Des analyses réalisées sur des monnaies romaines considérées à tort comme fausses depuis plus d'un siècle laissent entendre qu'un souverain romain du IIIe siècle, passé à la trappe de l'histoire, aurait finalement existé. L'empereur Sponsianus aurait gouverné une province isolée de l'Empire, la Dacie, correspondant à une partie de l'actuelle Roumanie.** **M. B.**

SOURCE : PAUL PEARSON, UNIVERSITY COLLEGE LONDON, ROYAUME-UNI.

PAUL N. PEARSON ET AL.

Sponsianus aurait gouverné la Dacie (dans l'actuelle Roumanie) au IIIe siècle.

DU 28 MAI AU 5 JUIN 2023

PARIS ✈ HAMBOURG
TROMSO ✈ PARIS

Jour	Escales	Arrivée	Départ
28/05	Paris / Hambourg / Kiel *(Allemagne)* ✈		17h00
29/05	Copenhague (Danemark)	07h00	13h00
30/05	Kristiansand	09h00	12h30
31/05	Bergen *(Norvège)*	07h00	14h00
01/06	Molde *(Norvège)*	07h00	18h00
02/06	Svartisen *(Norvège)* ⚓	20h00	23h00
03/06	Leknes / Îles Lofoten *(Norvège)* ⚓	08h00	14h00
04/06	Honningsvag / **Cap Nord**	17h30	
05/06	Honningsvag Tromso *(Norvège)* / Paris ✈	15h00	00h30 -

⚓ À l'ancre - Débarquement en chaloupe si les conditions météorologiques le permettent.

À partir de 2.690 €

par personne en **cabine intérieure, catégorie 2** occupée par **2 personnes.**

(vols internationaux inclus, **hors excursions optionnelles et pourboires facultatifs**)

Ce prix comprend :

- La croisière à bord du M/s Hamburg en pension complète du dîner du 1er jour au petit déjeuner du dernier jour, boissons aux repas incluses.
- Les vols (réguliers ou affrétés) Paris-Hambourg et Tromso-Paris.
- La présence (sauf raison de force majeure) pendant toute la croisière, et les conférences, des scientifiques invités par *Sciences et Avenir - La Recherche*.
- Des animations de qualité chaque soir, (variétés, soirée classique etc.).
- L'équipe d'encadrement Plein Cap.
- Les assurances assistance rapatriement.

Les croisières du SAVOIR
SCIENCES ET AVENIR
La Recherche

« DU CERVEAU PRÉHISTORIQUE À L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE LE FUTUR A DÉJÀ COMMENCÉ »

Comment fonctionnent le cerveau, la mémoire ? L'intelligence, qu'est-ce que c'est ? Et l'intelligence... artificielle ? Pour quoi faire ? Que pouvons-nous en attendre, ou en craindre ? Nous en débattrons !

CAP NORD ET FJORDS DE NORVÈGE

à bord du M/s Hamburg (200 cabines, 380 passagers)

MATHIEU NOWAK
Rédacteur en chef de *Sciences et Avenir - La Recherche*

Embarquons pour deux voyages. Le premier, exploratoire, dans les fjords de Norvège, d'extraordinaires vallées creusées par les glaciers depuis trois millions d'années. Le second, cérébral, à la découverte de l'organe le plus fascinant qui soit, le cerveau humain, qui depuis trois millions d'années également, ne cesse d'évoluer. Faisant fonctionner dans une harmonie mystérieuse plus de 100 milliards de neurones, origine de la conscience et de l'intelligence.
Ces deux voyages seront une rencontre saisissante entre forces de la nature et de l'évolution qui poseront, au-delà de la fascination, la question de l'avenir. Celui de paysages encore extraordinairement préservés, comme celui d'un organe que l'on peine à comprendre mais que l'on veut imiter.
Pour ce périple *Sciences et Avenir - La Recherche* a réuni des spécialistes de paléoanthropologie, de neurologie, d'intelligence artificielle et d'éthique qui nous expliqueront comment le cerveau humain a évolué, comment les chercheurs développent des techniques d'imagerie ultra-perfectionnées pour suivre son activité en temps réel et comment des ingénieurs imaginent l'imiter pour développer des intelligences dites artificielles afin de décupler ses capacités et en doter des robots. Vous participerez avec eux à une riche réflexion pour tenter de dessiner un futur dans lequel la science permettrait de mieux vivre, mieux vieillir, et mieux prendre soin de la planète. M. N.

Pour vous apporter leurs connaissances avec passion et pédagogie nos invités scientifiques seront avec vous pendant toute la croisière *

*** Sauf raison de force majeure**

LAURENCE DEVILLERS

© Olivier Ezratty

Informaticienne, professeure en informatique appliquée aux sciences humaines et sociales à Sorbonne Université. Elle dirige au CNRS la chaire de recherche en intelligence artificielle (IA) HUMAAINE et nous parlera des dimensions affectives de la relation homme-robots.
Dernier ouvrage paru : *Les Robots émotionnels (L'Observatoire 2020).*

JEAN-GABRIEL GANASCIA

© Dominique Lévy-Breillet

Informaticien, philosophe, professeur à Sorbonne Université et au Laboratoire informatique de Paris 6 (LIP6).
Ancien président du comité d'éthique du CNRS il évoquera les bénéfices et les risques de « l'existence en ligne » et nous dira ce que l'on peut attendre et/ou craindre de l'intelligence artificielle,
Dernier ouvrage paru : *Servitudes virtuelles* (Seuil, 2022).

ANTOINE BALZEAU

Paléoanthropologue, directeur de recherche au CNRS et au MNHN, il travaille au Musée de l'Homme. Ses travaux concernent les caractéristiques internes du crâne des fossiles et les indications qu'elles nous donnent sur les capacités biologiques des humains préhistoriques.
Dernier ouvrage paru : *Brève histoire des origines de l'humanité* (Tallandier, 2022).

FRANCIS EUSTACHE

© INSERM/Mehrak

Neuropsychologue, professeur à l'École pratique des hautes études de Paris et à l'Université de Caen-Normandie. Il est l'un des premiers chercheurs à avoir utilisé l'imagerie cérébrale pour étudier le fonctionnement cognitif et la mémoire humaine. Il nous expliquera comment fonctionne notre cerveau !
Dernier ouvrage paru : *La mémoire au futur* (Le Pommier, 2018).

Avec aussi

ANDREINA DE BEI

© Bernard Martinez

Rédactrice en chef photo de *Sciences et Avenir - La Recherche*
qui ira à votre rencontre et vous fera bénéficier de ses « secrets photo » !

Une occasion exceptionnelle de larguer les amarres pour vivre neuf belles journées d'évasion entre ciel et terre. Des journées denses, rythmées par les nombreux plaisirs de la vie à bord, de passionnantes conférences et des rencontres avec des compagnons de voyage partageant les mêmes motivations et les mêmes curiosités.
Et bien sûr les excursions à la découverte de ces terres septentrionales aux somptueux paysages dont vous garderez un souvenir inoubliable !

RENSEIGNEMENTS ET RÉSERVATIONS : **PLEIN CAP « Croisière du Savoir »**

CROISIÈRES PLEIN CAP : **251 ROUTE DE LA COLLE - 06270 VILLENEUVE-LOUBET - info@plein-cap.com - Tél. 04 93 20 21 20**

Programme complet, renseignements et inscriptions sur le site web : croisiere-du-savoir.fr

La plus ancienne preuve de cuisson

Des archéologues israéliens ont découvert un foyer avec des traces de cuisson de poisson.

TEL AVIV UNIVERSITY / AFP

Deux espèces de carpes bien cuites figuraient au menu de l'ancêtre de l'humain moderne (ici un spécimen contemporain provenant du muséum d'histoire naturelle Steinhardt de Tel-Aviv).

Il y a 780 000 ans, l'ancêtre de l'humain moderne savait déjà cuire ses aliments, selon une équipe de l'université de Tel-Aviv (Israël) qui apporte la plus ancienne preuve de cuisson d'un aliment. Plus précisément des sortes de carpe, dont les restes de dents découverts sur le site de Gesher Benot Ya'aqov, dans le nord d'Israël, indiquent qu'elles ont été chauffées à haute température. L'analyse par diffraction à rayons X de ces dents montre que la structure des cristaux composant l'émail a été modifiée par une cuisson comprise entre 200 °C et 500 °C. Jusqu'à cette découverte, il n'existait aucune preuve au-delà de -170 000 ans. Si *Homo erectus* maîtrisait bien le feu il y a au moins 1,7 million d'années, il est difficile de savoir quand il a commencé à s'en servir pour cuisiner. Une pratique qui, selon les paléontologues, aurait grandement contribué à l'expansion du genre humain en rendant les aliments plus digestes et plus sains. ■ **H. J.**

GIZA PROJECT AT HARVARD UNIVERSITY

À VOIR SUR LE NET

Une visite virtuelle de la Grande Pyramide de Gyzeh

ÉGYPTOLOGIE Il est désormais possible d'arpenter de chez soi les couloirs de la Grande Pyramide de Gizeh, tombeau présumé du pharaon Kheops édifié il y a plus de 4500 ans. Cette visite virtuelle, développée par l'université Harvard (États-Unis) et la start-up française Iconem, montre les trois chambres principales ainsi que les longs tunnels communicants, mais aussi des recoins inaccessibles au public. **H. J.**

Pour voir la vidéo, scannez ce QR code

2 millions d'années

L'âge des plus anciens fragments d'ADN

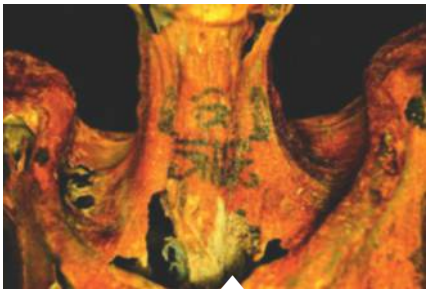
PALÉOGÉNÉTIQUE Les plus anciens morceaux d'ADN ont été récupérés d'échantillons provenant de la terre de Peary, au Groenland. Leur analyse a permis de reconstituer l'écosystème de la région, une forêt de peupliers, de bouleaux et de thuyas peuplée par des mastodontes, des rennes, des rongeurs ou des oies, qui a précédé le paysage désertique glacé actuel. **J. I.**

SOURCE : KURT KJÆR, UNIVERSITÉ DE COPENHAGUE, DANEMARK.

Des tatouages protecteurs pour l'accouchement dans l'ancienne Égypte

ÉGYPTOLOGIE Des tatouages ont été récemment analysés sur deux femmes momifiées découvertes à Deir el-Médineh, la cité des artisans des tombes royales en Égypte (1550-1070 avant J.-C.). Situés sur le cou et dans le bas du dos, ils représentent le dieu Bès, protecteur des femmes enceintes et des enfants. Les futures mères étaient sans doute tatouées en prévision de l'accouchement. **H. J.**

SOURCE : ANNE AUSTIN, UNIVERSITÉ DU MISSOURI, ÉTATS-UNIS.



ANNE AUSTIN/UNIVERSITY OF MISSOURI-ST. LOUIS

L'une des femmes momifiées porte une trentaine de tatouages (ici sur le cou).

Une nouvelle espèce de « T. rex »

PALÉONTOLOGIE Un fossile excavé dans l'est du Montana (États-Unis) en 2021 s'est révélé correspondre à une espèce inconnue de tyrannosauridés. Baptisé *Daspletosaurus wilsoni*, il s'agirait d'un proche ancêtre du célèbre *Tyrannosaurus rex*, un peu moins grand (9 m de long) et beaucoup plus léger. Il se reconnaît en particulier par un arrangement unique de petites cornes autour des yeux. **J. I.**

SOURCE : ELIAS WARSHAW, BADLANDS DINOSAUR MUSEUM, ÉTATS-UNIS.

La double ascendance des Malgaches

ANTHROPOLOGIE Des analyses génétiques réalisées sur les habitants de Madagascar suggèrent que ceux-ci descendent de deux populations de quelques centaines d'individus arrivées séparément sur l'île : la première d'origine asiatique a connu 1000 ans d'isolement génétique avant de rencontrer, il y a un millénaire environ, un groupe d'Africains de langue bantoue. **J. I.**

SOURCE : OMAR ALVA, UNIVERSITÉ DE TOULOUSE, FRANCE.

Les racines des arbres à l'origine d'une extinction massive

R. JONES/SPL/AKG IMAGES

L'apparition des végétaux ligneux au dévonien a nui aux espèces marines.

BIODIVERSITÉ Les premiers arbres ayant peuplé la Terre sont peut-être à l'origine de l'extinction du dévonien, il y a plus de 350 millions d'années, qui a emporté 75 % des espèces, notamment marines. Le pourrissement des racines a en effet envoyé vers la mer quantité de nutriments responsables d'une prolifération d'algues qui ont consommé la quasi-totalité de l'oxygène marin. **J. I.**

SOURCE : MATTHEW SMART, UNIVERSITÉ D'INDIANAPOLIS, ÉTATS-UNIS.

DEAN R. LOMAX/UNIVERSITÉ DE MANCHESTER

Un des deux moulages du fossile, retrouvé au muséum d'Histoire naturelle de Berlin.

Un fossile d'ichtyosaure disparu pendant la guerre refait surface

PALÉONTOLOGIE Détruit en 1941 par un bombardement, le premier fossile complet d'ichtyosaure découvert au XIXe siècle au Royaume-Uni, un reptile marin d'environ 200 millions d'années, va à nouveau pouvoir être étudié. Deux moulages ont été retrouvés, aux États-Unis puis en Allemagne. **Fl. N.**

SOURCE : DEAN LOMAX, UNIVERSITÉ DE MANCHESTER, ROYAUME-UNI.

JEAN PIERRE JANS/REA - NASA/JSC/ASU/A. SAUNDERS - M. DE LA TAILLADE - PHANIE/AFP

L'actualité se poursuit sur Internet

www.sciencesetavenir.fr - www.larecherche.fr

ÉVOLUTION

« Impossible de séparer la culture de la biologie en matière de genre »

Entretien exclusif avec le primatologue Frans de Waal qui convoque ses décennies d'observations et de recherches sur nos cousins les grands singes pour aborder la question du genre et ses liens étroits avec la biologie des sexes. À lire sur le site de La Recherche. **https://bit.ly/3F1c8KQ**

NUMÉRIQUE

Les podcasts de « Sciences et Avenir »

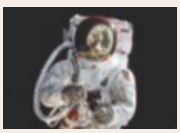
Retrouvez nos journalistes dans « Sixième Science », le podcast de vulgarisation scientifique réalisé en collaboration avec *20 Minutes*. **sciav.fr/911podcast**

POUR TOUT SAVOIR DE LA SCIENCE

SI VOUS AVEZ...

2 minutes

Les missions Apollo remastérisées



300 photos, dont des clichés inédits, retraçant les missions Apollo vers la Lune, ont été retravaillées numériquement pour redécouvrir cette aventure spatiale. **sciav.fr/911apollo**

5 minutes

Un déjeuner préhistorique à déguster

Sciences et Avenir a dégusté un repas préhistorique concocté par les apprentis du lycée Jean-Drouant, à Paris, sous la direction du paléontologue Antoine Balzeau. **sciav.fr/911dej**

10 minutes

Un algorithme amélioré pour le Nutri-Score

Entretien avec Chantal Julia, du Haut Conseil de la santé publique, sur les évolutions de ce système d'étiquetage nutritionnel mis en place en 2017. **sciav.fr/911nutri**

Vous êtes déjà 2 millions à nous suivre sur Facebook

En quête des origines de la vie

Les briques élémentaires de la vie existaient dans l'espace bien avant la formation de notre planète. Les chercheurs sont même surpris de la profusion de composés organiques retrouvés dans des corps extraterrestres. Plusieurs expériences vont tenter de reproduire les processus chimiques qui se seraient déroulés sur Terre il y a plus de 4 mlliards d'années.

Dossier réalisé par
Franck Daninos et Hervé Ratel

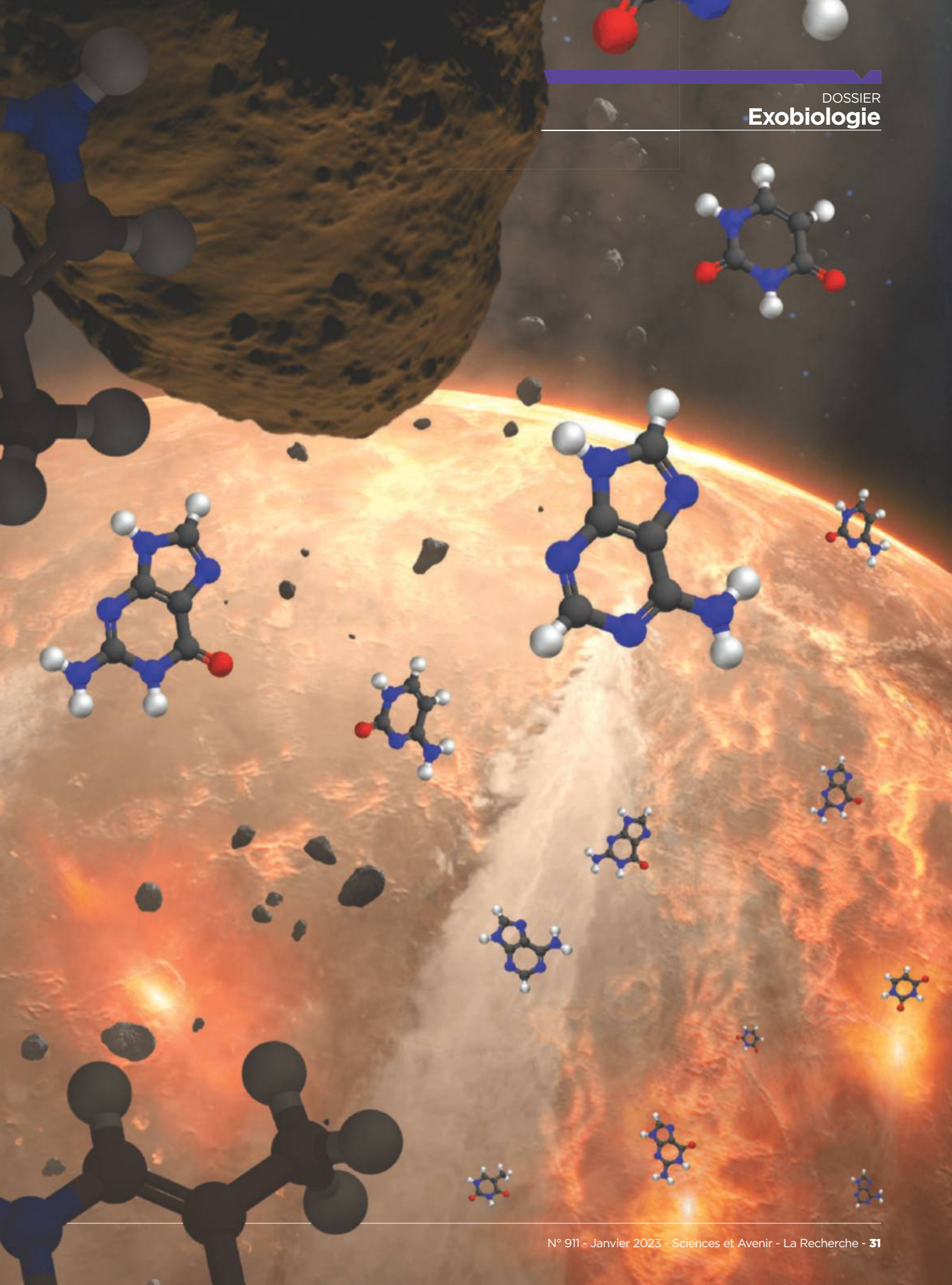
COMPRENDRE
L'odyssée spatiale des briques du vivant
p. 32

PANSPERMIE
L'hypothèse de la vie venue de Mars
p. 35

REPORTAGE
Des molécules à la vie, l'expérience ultime
p. 40

INTERVIEW
« Des structures plus ou moins vivantes ont dû d'abord émerger »
p. 44

NASA GODDARD/CILAB/DAN GALLAGHER



L'odyssée spatiale des briques du vivant

Les molécules constitutives de la vie ont pu être fabriquées dans l'espace et délivrées sur la Terre primitive par des chutes de météorites. Pour en avoir le cœur net, plusieurs missions visent à récupérer des échantillons directement sur des astéroïdes.

Murchison, 28 septembre 1969, 10 h 58 min. Dans ce village rural du sud de l'Australie, alors que la plupart des habitants se rendaient à l'église en cette matinée dominicale, ils virent surgir dans le ciel une boule de feu très lumineuse qui explosa peu après dans un fracas assourdissant et engendra une pluie de météorites. De couleur sombre et d'une masse totale avoisinant les 100 kg, des centaines de fragments furent récupérés sur le sol avant d'être transmis pour analyse à des laboratoires de recherche. Plus de cinquante ans après, *« la météorite de Murchison reste la plus étudiée au monde, en raison de sa masse importante, sa collecte rapide et des milliers de molécules organiques qu'on y a découvert comme des acides aminés, des acides gras ou encore des alcools »*, indique Grégoire Danger, chimiste et astrobiologiste à l'institut Origines de l'université Aix-Marseille. Et cette pierre céleste continue de fasciner les scientifiques. Car en avril 2022, des chercheurs de la Nasa et de l'université de Hokkaïdo au Japon ont découvert qu'elle contenait également des traces d'adénine, de guanine, d'uracile, de thymine et de cytosine — une première pour ces deux derniers composés. Soit la totalité des « bases nucléiques » qui constituent les molécules d'ADN et d'ARN, support de l'information génétique chez tous les êtres vivants !

ALAMY/PHOTO12.COM

La météorite de Murchison, tombée sur Terre en 1969, abrite des milliers de molécules organiques.

« Cela ne signifie pas qu'un organisme pourrait se développer dans de tels objets extraterrestres, insiste Grégoire Danger. *Mais c'est une preuve supplémentaire de ce qui apparaît comme de plus en plus évident : les molécules constitutives de la vie ont pu être fabriquées dans l'espace et délivrées sur la Terre primitive par des chutes de météorites.* » Un constat que la mission japonaise Hayabusa-2 conforte elle aussi de manière éclatante. Elle a en effet grappillé, à 280 millions de kilomètres de notre planète, 5,4 grammes de matériaux de l'astéroïde Ryugu avant de les rapatrier sur Terre il y a tout juste deux ans. Et les analyses préliminaires, dont la publication est imminente à l'heure où nous écrivons ces lignes, révèlent que ces échantillons contiennent au moins 20 acides aminés — autres briques fondamentales du vivant qui charpentent les protéines des cellules.

Retrouver les ingrédients des premiers systèmes vivants

« Il n'existe aucun consensus sur la manière dont les premières formes de vie sont apparues sur notre planète, il y a probablement plus de 4 milliards d'années », pose Emmanuel Dartois, chercheur à l'Institut des sciences moléculaires de l'université Paris-Saclay (Essonne). Les circonstances, processus chimiques et multiples étapes qui ont permis au vivant de surgir de l'inerte restent en effet mystérieux. *« C'est l'une des grandes énigmes de la science, assujettie à une multitude d'inconnues et de possibilités, d'une complexité effroyable »*, souligne Grégoire Danger. L'une des raisons tient au fait que les roches susceptibles de contenir les fossiles les plus anciens n'ont pas été préservées *(lire l'encadré p. 37)*. Elles ont été détruites par les bombardements météoritiques ou l'érosion, mais surtout par la tectonique des plaques qui les a enfouies dans

EPA-EFE/JAXA / MAXPPP

Les fragments recueillis sur l'astéroïde Ryugu, à 280 millions de km de la Terre, ont été rapportés fin 2020 par la mission Hayabusa-2. Ils renferment une vingtaine d'acides aminés, molécules essentielles à la vie.

les profondeurs de la Terre. Les conditions qui devaient régner à l'époque de l'hadéen (de -4,5 à -3,8 milliards d'années) demeurent en outre incertaines, décrites uniquement par des modèles théoriques et des simulations.

Mais pour espérer découvrir un jour la « recette » de la vie, *« les scientifiques doivent comprendre, à tout le moins, quels ont pu être ses ingrédients de base : les matériaux disponibles lorsque les premiers systèmes vivants ont éclos »*, relève Jean Duprat, de l'Institut de minéralogie, de physique des matériaux et de cosmochimie, à Paris. Et c'est dans l'environnement de la Terre primitive qu'ils ont logiquement et en premier lieu cherché l'origine de ces molécules « prébiotiques ». Ces travaux pionniers ont été menés au début des années 1950 par l'Américain Stanley Miller. Âgé de seulement 23 ans, il réalise alors une série d'expériences qui marquent les esprits. *« Stanley Miller souhaitait comprendre comment notre jeune planète avait pu produire les briques universelles de la vie telles que les acides aminés. Quels processus avaient permis, autrement dit, le passage d'une chimie essentiellement minérale à une chimie dite organique — plus complexe et plus malléable, fondée sur les atomes de carbone »*, explique Caroline Freissinet, astrobiologiste au Laboratoire atmosphères, milieux et observations spatiales (Latmos) à Guyancourt (Yvelines). Cherchant à reproduire les caractéristiques de l'atmosphère primitive, le jeune chimiste enferme ainsi du méthane, du dihydrogène, de l'ammoniac et de la vapeur d'eau à l'intérieur d'un ballon. Puis soumet le tout à des arcs électriques censés simuler l'effet des éclairs. Bingo ! Car après avoir laissé mijoter cette mixture pendant plusieurs jours, il obtient

ANDRÉ BRACK

« L'atmosphère originelle n'était probablement pas la filière principale pour démarrer la vie »

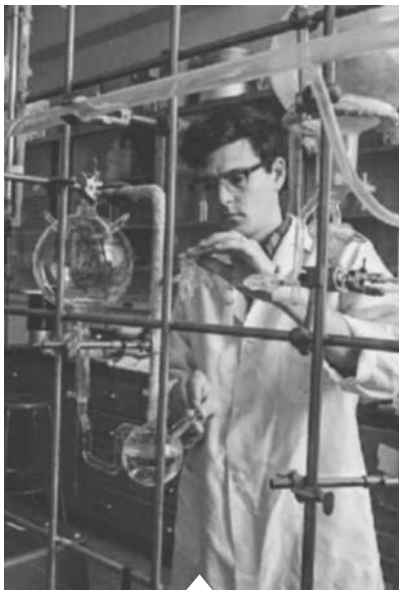
André Brack, directeur de recherche émérite au Centre de biophysique moléculaire à Orléans (Loiret)

une variété de composés organiques comme l'urée, le formaldéhyde et l'acide cyanhydrique, mais aussi une dizaine d'acides aminés tels que la glycine et l'alanine. Il pense alors démontrer que ces molécules se seraient formées sur Terre spontanément, de manière abiotique, à partir d'espèces inorganiques ayant réagi ensemble. Mais ces fameuses expériences seront par la suite contestées.

Sur Terre, la piste des sources hydrothermales

On comprend en effet, quelques années plus tard, que « *l'atmosphère primitive n'était pas dominée par du méthane mais du dioxyde de carbone* », signale André Brack, directeur de recherche émérite au Centre de biophysique moléculaire à Orléans. Or, quand on réitère les travaux de Stanley Miller avec cet autre mélange, les produits sont beaucoup plus restreints ! « *L'atmosphère originelle n'était donc probablement pas la filière principale pour faire démarrer la vie* », conclut le chercheur.

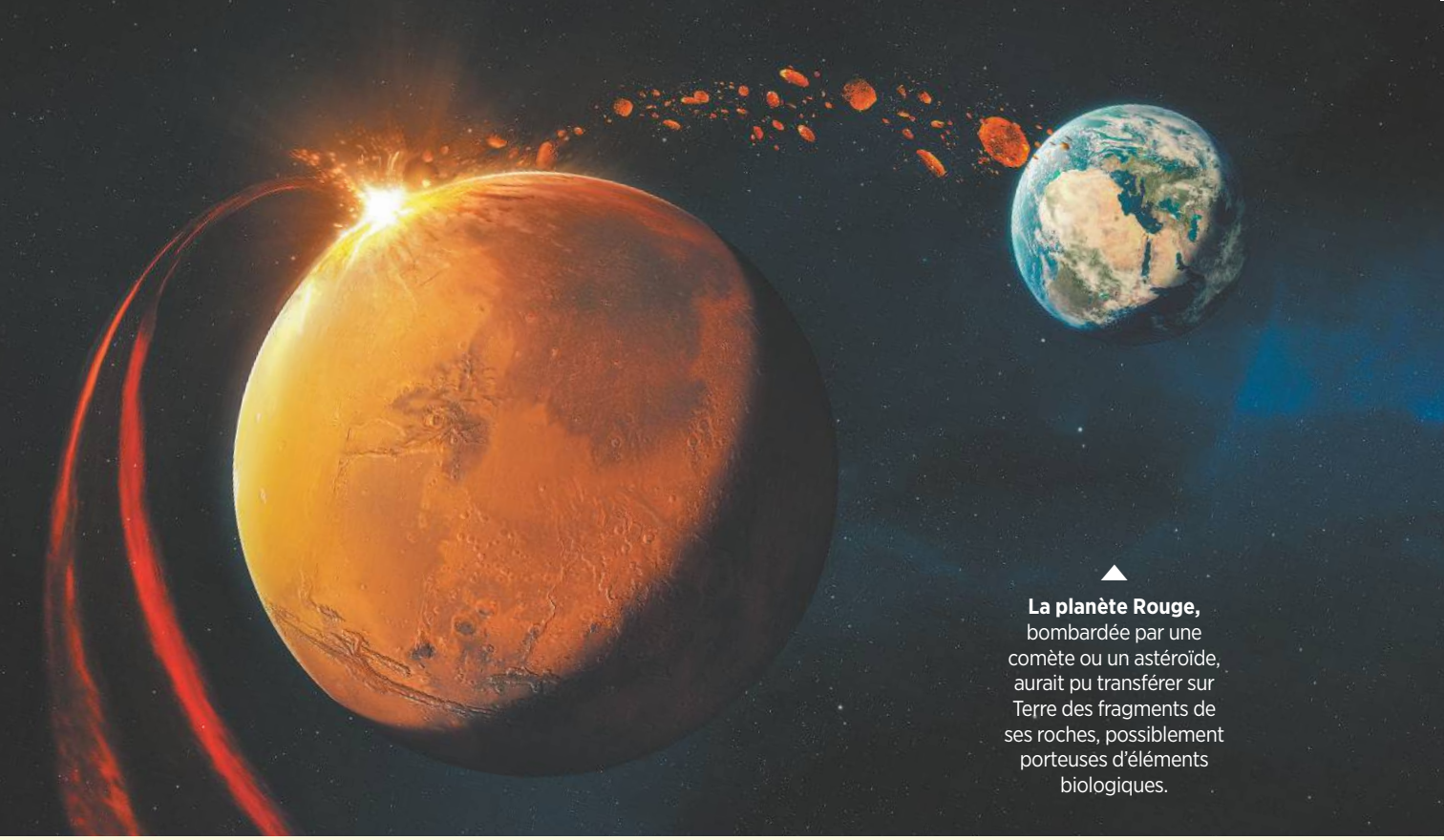
À la fin des années 1970, l'attention se déporte vers le fond des océans. Grâce à un sous-marin de l'armée américaine, l'*Alvin*, des sources hydrothermales sont effectivement repérées au large des îles Galapagos dans le Pacifique, à près de 3000 mètres de profondeur. Autour de ces geysers qui longent les plaques tectoniques de notre planète, la pression peut dépasser 600 bars et la température 410 °C. Mais ce sont de véritables oasis de vie, abritant jusqu'à 100 000 fois plus de biomasse (microbes, vers, crustacés…) que dans le reste du milieu abyssal. Ils éjectent surtout, dans les volutes d'eau, tous les éléments des expériences de Miller : du dihydrogène, de l'ammoniac ainsi que plusieurs sources de carbone comme le méthane, le gaz carbonique et le monoxyde de carbone. On y trouve aussi une variété de minéraux et métaux (lithium, fer, manganèse…) pouvant accélérer les réactions chimiques et produire ainsi de grandes quantités de molécules organiques. Ces réacteurs naturels auraient donc pu alimenter la chimie nécessaire à l'émergence de la vie. Il est toutefois extrêmement difficile, dans des milieux aussi hostiles et à partir des quelques prélèvements *in situ*, de connaître précisément les processus qui s'y déroulent. Et « *discerner, en particulier, les molécules organiques d'origine biotique ou abiotique. Car au niveau des sources hydrothermales comme dans les autres environnements terrestres, la vie s'est immiscée partout. Elle a profondément modifié notre planète, plus rien n'étant totalement abiotique* », observe Caroline Freissinet. Si les apports spécifiques à la Terre (les ingrédients « faits maison », si l'on peut dire) restent spéculatifs, ceux qui sont venus de l'espace sont en revanche beaucoup plus certains et de mieux en mieux caractérisés. « *Nous autres, chimistes, aimons avoir les choses en main et travailler sur des éléments tangibles comme les météorites* », lâche André Brack.


UC SAN DIEGO LIBRARY

Le biologiste américain Stanley Miller (ici en 1970), pionnier dans les expériences sur l'origine de la vie.

Les chondrites, témoins de la formation du Système solaire

Or, des pierres extraterrestres, les scientifiques en ont référencé des dizaines de milliers ! L'écrasante majorité de ces pierres sont appelées « chondrites » en raison des petites billes silicatées qu'elles contiennent, les chondres. Très primitives, elles reflètent la composition originelle du Système solaire formé il y a 4,5 milliards d'années. Car les chondrites correspondent, en particulier, aux fragments d'objets rocheux qui n'ont pas pu s'agglutiner pour donner naissance aux planètes. Ils errent depuis lors entre Mars et Jupiter dans la ceinture d'astéroïdes. Et sont régulièrement expulsés, par le jeu des collisions, vers les régions internes du Système solaire, notamment la Terre où ils tombent de façon continue. Or, une fraction (environ 5 %) de ces bouts d'astéroïdes contient jusqu'à 4 % de molécules organiques et 18 % d'eau. Tel est le cas, pour citer quelques spécimens célèbres, de la météorite d'Orgueil, tombée au milieu du XIXe siècle dans le Tarn-et-Garonne, de la météorite d'Allende, retrouvée en 1969 au Mexique et pesant près de deux tonnes, ou celle de Murchison. Dans cette dernière, une quinzaine d'acides aminés ont été ainsi débusqués dès les années 1970… quantité qui grimpera jusqu'à 96 au fil des études. Soit un nombre beaucoup plus important que les 22 acides aminés qui structurent les protéines des cellules ! Même constat pour les bases nucléiques de l'ADN et de l'ARN. Détecté en premier lieu (adénine et guanine) dans la météorite d'Orgueil, ce type de compo-



La planète Rouge, bombardée par une comète ou un astéroïde, aurait pu transférer sur Terre des fragments de ses roches, possiblement porteuses d'éléments biologiques.

TOBIAS ROETSCH / FUTURE PUBLISHING / GETTY IMAGES

PANSPERMIE

L'hypothèse de la vie transmise par Mars

Et si les êtres peuplant notre planète, humains y compris, venaient tous de Mars ? Et résultaient, plus précisément, d'une colonisation de bactéries martiennes arrivées sur Terre il y a plusieurs milliards d'années ?
« Aucune preuve formelle n'étaye cette théorie, mais plusieurs expériences montrent que c'est théoriquement possible », note André Brack, du Centre de biophysique moléculaire du CNRS à Orléans. L'idée que des organismes extraterrestres aient pu ensemencer notre planète n'est certes pas nouvelle. Dénommée « panspermie », elle a été défendue par des scientifiques de renom comme le Suédois Svante Arrhenius, prix Nobel de chimie en 1903. Il estimait que des spores, formes dormantes de certaines bactéries, se propageraient facilement dans l'espace, poussées par la pression de radiation du Soleil ou véhiculées par des astéroïdes.

300 météorites martiennes sur Terre

« On pensait à cette époque que la vie pourrait être largement disséminée dans le Système solaire. Les connaissances sur les astéroïdes étaient en outre rudimentaires. D'où ces spéculations, sur lesquelles la communauté scientifique est à présent bien plus sceptique », résume Jean Duprat, chercheur au Muséum national d'histoire naturelle à Paris. Le système Terre-Mars constitue toutefois un cas à part. Car les deux voisines devaient être très similaires il y a 4 milliards d'années. Elles possédaient chacune un champ magnétique global, une atmosphère épaisse et un volcanisme actif, ainsi que de l'eau liquide et des composés organiques.
« Mais Mars, plus petite que la Terre, s'est refroidie plus vite, rappelle André Brack. *Et aurait donc pu offrir, en premier, des conditions favorables à la vie. »* D'éventuels micro-organismes martiens auraient alors pu être expulsés à la suite d'impacts d'astéroïdes. Puis voyager dans l'espace jusqu'à retomber ici-bas, à l'instar des quelque 300 météorites martiennes identifiées à ce jour.
Il faudrait, bien sûr, que les microbes survivent à une telle épopée. Or, différents travaux menés depuis les années 1980 attestent que des lichens ou des spores bactériennes subsistent à des accélérations un million de fois supérieures à celle de la pesanteur. Et à des ondes de choc équivalentes à 40 millions de pascals ! Des expériences sur la Station spatiale internationale ont même démontré, en 2020, que la bactérie polyextrêmophile *Deinococcus radiodurans* (surnommée « Conan ») pouvait résister à la microgravité, au vide glacial et aux rayonnements ultraviolets. Et ce pendant plusieurs années, grâce à une couche de cellules mortes protégeant le reste de la colonie. Soit une durée plus courte que le temps mis par quelques météorites martiennes pour arriver sur Terre.

sés est présent par dizaines dans diverses chondrites carbonées, dépassant largement les cinq unités de base (notées A, G, T, U, C) encodant l'information génétique. Bien qu'universelles et communes à tous les organismes vivants, *« ces familles de composés ne sont donc pas l'apanage de la vie, qui n'en a sélectionné et amplifié qu'une partie pour se développer,* note Caroline Freissinet. *Si l'on détectait un jour, dans un milieu extraterrestre, un nombre restreint de ces composés mais en quantités très importantes, cela pourrait constituer ainsi une sorte de biosignature.* »
Les comètes, petits corps glacés dont les réservoirs se situent au-delà de l'orbite de Neptune, ont dû constituer un autre apport majeur. Beaucoup plus friables que les astéroïdes, elles se désagrègent toutefois dans l'atmosphère terrestre. Et ne produisent donc pas d'objets massifs pouvant être recueillis puis analysés en laboratoire. Mais les télescopes ont révélé, en 1986, que la comète de Halley était constituée à 14 % de molécules carbonées. Et que la comète Hale-Bopp, lors de son passage à proximité de la Terre en 1997, recelait au moins neuf composés de ce type, tels l'acide formique ou l'acétylène. Placée en orbite autour de la comète Tchouri en 2014, la sonde européenne Rosetta a glané des informations encore plus détaillées. Elle a établi que le noyau cométaire contenait 40 % de matière carbonée et qu'au moins 16 substances flottaient près de sa surface, dont du phosphore, des sels d'ammonium, du formol, de l'acétone et de l'acide acétique… mais aussi la glycine, premier acide aminé à être détecté de manière directe dans l'espace.

CAROLINE FREISSINET

« La chimie froide de l'espace engendre un luxe de molécules, bien plus diverses que dans la biomasse terrestre »

Caroline Freissinet, astrobiologiste au Laboratoire Atmosphères, milieux et observations spatiales à Guyancourt (Yvelines)

La formation de sucres complexes a pu être observée

Comment expliquer une telle richesse moléculaire ? Pour comprendre, les chercheurs simulent l'évolution des comètes et des astéroïdes en laboratoire. *« Nous reproduisons la manière dont de petits noyaux de poussières et de glaces se sont formés dans la nébuleuse primordiale, jusqu'à leur incorporation dans de plus gros objets et leurs pérégrinations dans le Système solaire »*, indique Grégoire Danger, qui réalise ce type d'expériences depuis une quinzaine d'années. Ces noyaux sont constitués d'éléments très simples : des poussières de silicates autour desquelles s'agrègent des glaces d'eau, de méthanol, d'ammoniac et de dioxyde de carbone. Ils sont placés dans des enceintes où règnent des températures ultrafroides (-200 °C) et un vide poussé (10 milliardièmes de millibars). Les chercheurs les soumettent ensuite à divers rayonnements mimant les effets des particules cosmiques et de notre

RÉSULTATS

L'eau de nos océans viendrait des astéroïdes

C'est un autre résultat fort des premières analyses des échantillons de Ryugu : cet astéroïde contient des minéraux hydratés, en particulier des argiles. Ils ont probablement été formés par l'action de l'eau sur des roches silicatées lorsque le gros objet duquel il a été fragmenté — appelé « corps parent » — était suffisamment chaud pour faire fondre la glace. En septembre dernier, des chercheurs de l'université de Tohoku (Japon) ont même découvert qu'une goutte d'eau avait été préservée dans une inclusion de sulfure de fer, piégée elle-même dans un grain de quelques millimètres de large. *« Ces résultats accréditent l'idée selon laquelle l'eau de nos océans, solvant essentiel à la vie, aurait une origine spatiale, notamment astéroïdale,* explique Cécile Engrand, du Laboratoire de physique des 2 infinis Irène-Joliot-Curie, à Orsay. *Elle aurait été apportée tardivement, après la formation de la Terre il y a 4,5 milliards d'années, par les météorites et micrométéorites qui y sont tombées progressivement.* »
Le manteau terrestre renfermerait lui aussi d'immenses quantités d'eau : au moins autant qu'en surface, soit 2,5 milliards de milliards de tonnes. Elles y seraient présentes depuis la genèse de la Terre. *« Elles proviendraient d'un certain type de roches, appelées chondrites à enstatite, dont l'agglomération aurait permis de fabriquer la Terre »*, détaille la chercheuse, se référant à des travaux réalisés par le Centre de recherches pétrographiques et géochimiques de Nancy en 2020.

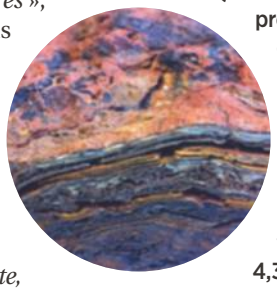
étoile. Puis, ces grains sont peu à peu réchauffés afin de simuler les conditions de leur voyage vers les régions internes du Système solaire *(voir l'infographie ci-dessous)*. *« Je ne m'attendais pas à des résultats spectaculaires dans des milieux aussi extrêmes et rudimentaires »*, confie Grégoire Danger. Mais les rayonnements brisent les molécules de départ, formant des espèces très réactives que les chimistes appellent des « radicaux ». *« Or ceux-ci, comme dans un jeu de Lego, interagissent et se recombinent. Et l'on obtient, au bout du compte, des milliers de composés très similaires à ceux qu'on détecte dans les chondrites carbonées »*, s'émerveille le chercheur. En 2016, une équipe de l'Institut de chimie de Nice a même observé la formation de sucres complexes avec ce genre d'expérimentations. En particulier le ribose qui, avec un groupement phosphate, constitue l'ossature des molécules d'ARN en reliant entre elles les bases nucléiques… Trois ans plus tard, ce même sucre sera identifié dans plusieurs chondrites carbonées, dont la fameuse météorite de Murchison ! Dans des proportions certes infimes (quelques parties par milliard), décelées grâce à des techniques de pointe comme la chromatographie en phase gazeuse et la spectrométrie de masse. *« Plus les techniques sont sensibles et sophistiquées, plus nous découvrons une variété de composés dans les objets extraterrestres »*, pointe Emmanuel Dartois. C'est néanmoins une surprise, ajoute Caroline Freissinet : *« On ne s'attendait pas à ce que la chimie froide de l'espace engendre un tel luxe de molécules, bien plus diverses que dans la biomasse terrestre. »*

Même si l'atmosphère et l'hydrothermalisme de la Terre primitive ont dû fabriquer divers ingrédients prébiotiques, la recette de la vie débuterait ainsi beaucoup plus en amont dans le vide glacé de l'espace. Celui-ci se révèle un formidable « alchimiste » qui, par le biais des morceaux de comètes et d'astéroïdes tombés sur notre planète, aurait fourni énormément de matériaux pour la chimie du vivant. D'autant que le flux météoritique, qui correspond aujourd'hui à plus de 5000 tonnes par an, devait être des centaines, voire des milliers de fois plus intense il y a 4 milliards d'années. *« Il est certes constitué de gros fragments comme les pierres de Murchison ou d'Orgueil. Mais il est dominé, en réalité, par des poussières submillimétriques riches en carbone et en eau, dont les modèles prédisent qu'elles proviennent à 80 % de comètes »*, souligne Jean Duprat, qui a dirigé plusieurs expéditions en Antarctique afin d'étudier ces micrométéorites, et dont les conclusions sur leur flux ont été publiées en 2021.

Ces enseignements revêtent une importance majeure. Pour les scientifiques, tout d'abord, qui s'efforcent de récréer les premières fonctionnalités du vivant, comme la capacité à s'auto-organiser, s'autorépliquer ou produire des membranes permettant d'isoler et individualiser des molécules organiques du milieu extérieur *(lire p. 40)*. Ils peuvent désormais ajouter, dans leurs éprouvettes, tout un éventail d'ingrédients dénichés dans les objets extraterrestres

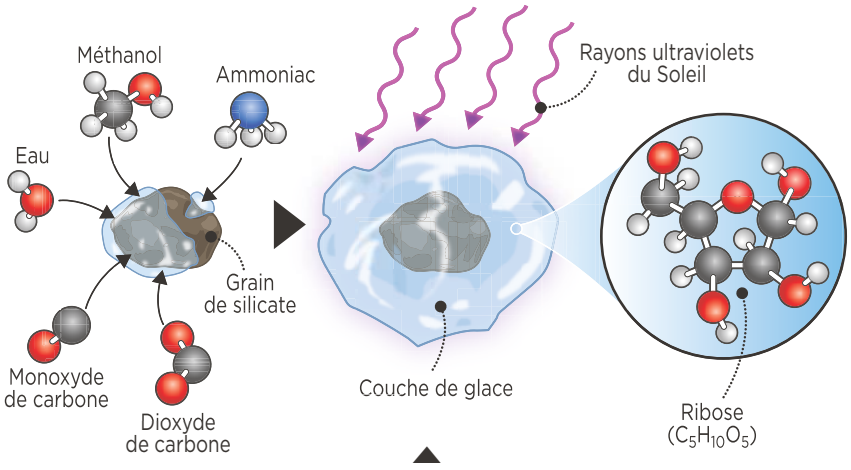
BIOSIGNATURE

La plus ancienne trace de vie est en Australie



HICKMAN-LEWIS ET AL.

C'est dans la région de Pilbara, en Australie-Occidentale, que les plus anciennes traces de vie ont été identifiées et font l'objet du plus large consensus. Elles sont âgées de 3,43 milliards d'années et correspondent à des « stromatolithes » (en médaillon), structures calcaires organisées en fines couches produites par des micro-organismes photosynthétiques, des cyanobactéries. Des microfossiles similaires datant de 3,48 milliards d'années auraient également été découverts dans cette même région, selon une étude britannique publiée en novembre 2022. Mais la vie est sans doute apparue bien avant ces microbes relativement évolués, qui devaient déjà foisonner sur notre planète. D'autres travaux, plus contestés, mentionnent ainsi de possibles biosignatures dans des roches vieilles de 3,7 milliards d'années au Groenland, et même de 4,3 milliards d'années au nord-est du Québec.



BRUNO BOURGEOIS

Le ribose, élément clé des molécules d'ARN, est produit dans l'espace à partir de composés tels le méthanol, l'ammoniac et l'eau. S'agrégeant sous forme de glaces autour de grains de poussière, ils vont créer, sous l'effet des rayonnements solaires, ce sucre complexe.

LAURENT REMUSAT

CHERCHEUR À L'INSTITUT DE MINÉRALOGIE, DE PHYSIQUE DES MATÉRIAUX ET DE COSMOCHIMIE DU MUSÉUM NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE, À PARIS

Comment nous allons étudier les échantillons de l'astéroïde Ryugu

"C'est avec beaucoup d'excitation et d'enthousiasme que nous avons réceptionné en août dernier un grain de roche de l'astéroïde Ryugu, en réponse aux premiers appels d'offres de l'agence spatiale japonaise ouverts à l'ensemble de la communauté scientifique. Il nous a été livré, par avion, dans une enceinte de la taille d'une tasse à café. Conservé dans une atmosphère inerte d'azote, il ne pèse que 3,5 mg et mesure 2,8 mm, soit l'épaisseur d'une mine de crayon ! Mais cette matière astéroïdale alimentera les travaux d'une vingtaine de chercheurs français pendant quatre à cinq ans, dans mon laboratoire ainsi qu'à l'Institut d'astrophysique spatiale d'Orsay, à l'Unité matériaux et transformations de Lille et à l'Institut de planétologie et d'astrophysique de Grenoble. Le grain a été fractionné en éléments encore plus petits afin de réaliser, jusqu'à l'été prochain, toute une série de mesures. Nous chercherons à expliquer, notamment, les différences qui ont été observées entre les échantillons de Ryugu et les météorites découvertes sur Terre qui lui ressemblent le plus. Elles pourraient avoir été causées par des réactions d'oxydation au contact de l'atmosphère terrestre. Et à la surface de l'astéroïde, par les effets de l'érosion spatiale engendrée par les rayonnements solaires et cosmiques. Mais nous examinerons aussi, dans les fragments de Ryugu, la manière selon laquelle les composés organiques s'associent aux minéraux, en particulier argileux. L'objectif est de comprendre comment des réactions de surface ou l'encapsulation des molécules pourraient faciliter la synthèse de composés d'intérêt biologique comme les alcools, les acides gras ou les acides aminés."

© J.-J. LIEN FALSIMAGNE/ LEEXTRA POUR SCIENCES ET AVENIR - LA RECHERCHE

Propos recueillis par F. D.

ou les expériences de laboratoire. Mais ces résultats ont une portée encore plus grande, selon André Brack : *« Car si les briques élémentaires du vivant n'ont pas été formées spécifiquement par notre planète mais viennent plutôt de l'espace, le développement d'une vie ailleurs que sur Terre apparaît plus facilement généralisable. »*

Discerner les altérations terrestres des météorites

Plusieurs questions taraudent néanmoins les chercheurs sur ce qu'ils détectent dans les météorites. La traversée de l'atmosphère n'est effectivement pas anodine pour ces objets spatiaux. Elle engendre notamment des ondes de choc qui pourraient briser certaines molécules et les faire réagir entre elles. Le séjour sur Terre, surtout si les pierres ne sont pas recueillies rapidement, déclenche aussi des processus liés à la présence d'oxygène ou à des contaminations biologiques, par des bactéries s'immisçant à l'intérieur des roches ou au moment de leur manipulation par exemple. *« Il est donc toujours difficile, malgré d'infinies précautions, de déterminer ce qui est intrinsèque aux météorites de possibles altérations terrestres »*, constate Jean Duprat. D'où l'importance cruciale de la mission Hayabusa-2, la première à recueillir des échantillons d'un astéroïde carboné ! Grâce à cet exploit accompli par la Jaxa, l'agence spatiale japonaise, *« nous possédons des matériaux purs et extraordinairement préservés pouvant être comparés aux météorites et micrométéorites de nos collections »*, se réjouit l'expert.

Plus de 300 chercheurs internationaux — dont environ 80 Français — ont été chargés par la Jaxa des analyses préliminaires. Répartis en différents groupes, ils ont dressé un premier bilan des contenus chimiques, minéralogiques ou en composés volatils tels que l'eau *(lire l'encadré p. 36)*, et bien sûr de la matière carbonée. Des substances azotées ainsi que des hydrocarbures aromatiques ont été par exemple identifiés. Et c'est dans

MARIE GODARD / ISMO / CNRS PHOTOTHÈQUE ; PIERRE ROCHETTE/CNRS PHOTOTHÈQUE

Plusieurs expéditions en Antarctique dirigées par le cosmochimiste Jean Duprat ont permis de collecter des micrométéorites (vignette), ces poussières interplanétaires issues de comètes et d'astéroïdes, riches en carbone et en eau, afin d'étudier ce qu'elles ont apporté à notre planète.

un minuscule fragment de 13,08 mg que 20 acides aminés ont été découverts… dont la glycine, la valine et l'alanine, qualifiés de « protéinogènes ». Une première dans un astéroïde.

Autre résultat important : Ryugu ressemble beaucoup à la météorite d'Orgueil. *« Du moins aux objets de cette classe, dénommés chondrites CI, qui tombent très rarement sur Terre mais qui seraient abondants dans les régions externes de la ceinture d'astéroïdes »*, indique Cécile Engrand, du Laboratoire de physique des 2 infinis Irène-Joliot-Curie (université Paris-Saclay) qui a participé aux examens préliminaires. *« Car plusieurs différences apparaissent »*, précise la chercheuse. Dans la météorite d'Orgueil, certains minéraux comme les sulfures de fer se sont ainsi transformés en sulfates en réagissant avec la vapeur d'eau de l'atmosphère. La matière organique y est par ailleurs plus oxydée, du fait là encore des probables interactions avec notre planète. *« Lorsqu'elles seront bien comprises, de telles comparaisons permettront de jeter un regard nouveau sur les précédentes analyses de météorites et micrométéorites,* annonce Emmanuel Dartois. *Et déterminer ainsi, plus précisément, ce que les objets extraterrestres ont pu apporter sur notre planète au cours de l'histoire.* »

250 g de l'astéroïde Bennu sont attendus pour septembre 2023

Les analyses des échantillons de Ryugu ne font du reste que commencer. Car depuis l'été dernier, elles ont été ouvertes à toute la communauté des chercheurs *(lire le témoignage ci-contre)*. Ils peuvent désormais requérir de petits fragments auprès de la Jaxa et poursuivre ce travail d'enquête, notamment sur la matière organique. Toutes les molécules d'intérêt biologique seront ainsi passées au crible des plus puissants instruments à l'échelle mondiale. Cela concernera les sucres et les acides aminés, *« mais aussi d'éventuels acides carboxyliques à longues chaînes qui s'entrelacent dans les membranes des cellules et qu'on pourrait retrouver dans ces échantillons »*, trépigne Caroline Freissinet.

L'attention se concentrera aussi sur l'organisation tridimensionnelle des atomes au sein des composés organiques. *« Car le vivant utilise certaines conformations et pas d'autres pour des raisons qu'on ignore encore »*, précise l'astrochimiste. Ce type d'analyses — et c'est aussi le cas pour les bases nucléiques de l'ADN et de l'ARN — nécessitent toutefois des fragments relativement massifs, souvent de l'ordre du gramme. Elles seront ainsi difficiles à réaliser, du moins ambiguës, avec les seuls échantillons de Ryugu. Mais en septembre 2023, de nouveaux matériaux extraterrestres seront rapportés sur notre planète. Ils ont été collectés il y a deux ans par la sonde de la Nasa Osiris-Rex sur un autre astéroïde carboné à 340 millions de kilomètres de notre planète. Dénommé Bennu, il s'apparenterait pour sa part à la météorite de Murchison… Et 250 g d'échantillons ont pu cette fois être récoltés par la mission américaine ! De quoi alimenter quantité de travaux, et découvrir sans doute de nouveaux indices sur les origines spatiales de la vie. ■ **F. D.**

Des molécules à la vie, l'expérience ultime

À Marseille, des chercheurs vont mener une expérience inédite pour traquer la première étincelle de vie. Et tenter de comprendre comment le processus du vivant s'est mis en place, depuis l'espace ou depuis la Terre. Reportage à l'institut Origines.

De la chimie inanimée est née la vie. Tous les chercheurs s'accordent sur ce fait. Mais que s'est-il passé à cet instant exact de point de rupture entre ce qui est inerte et ce qui va être en mesure de se multiplier, d'évoluer, de se diversifier ? Quels sont les éléments chimiques, baignés dans le bon environnement, les pression et température adéquates, une exposition correcte aux rayonnements UV, qui, ensemble, ont produit la première étincelle de vie ? Dans le laboratoire Piim (Physique des interactions ioniques et moléculaires) de l'institut Origines de l'université Aix-Marseille, Grégoire Danger nous conduit devant le réacteur qui permettra peut-être, dans quelques mois, de livrer des débuts de réponse à cette énigme. Avec ses deux gants noirs fixés sur la vitre qui attendent que l'expérimentateur y enfile ses mains, le caisson paraît presque inquiétant, de nature à contenir un matériau ultradangereux. « *En fait, c'est une enceinte qui permettra d'y déposer les résidus que nous souhaitons étudier dans un environnement aqueux proche de celui de la Terre primitive,* explique le chercheur. *Par spectrométrie de masse, nous serons alors en mesure de suivre leur évolution.* »

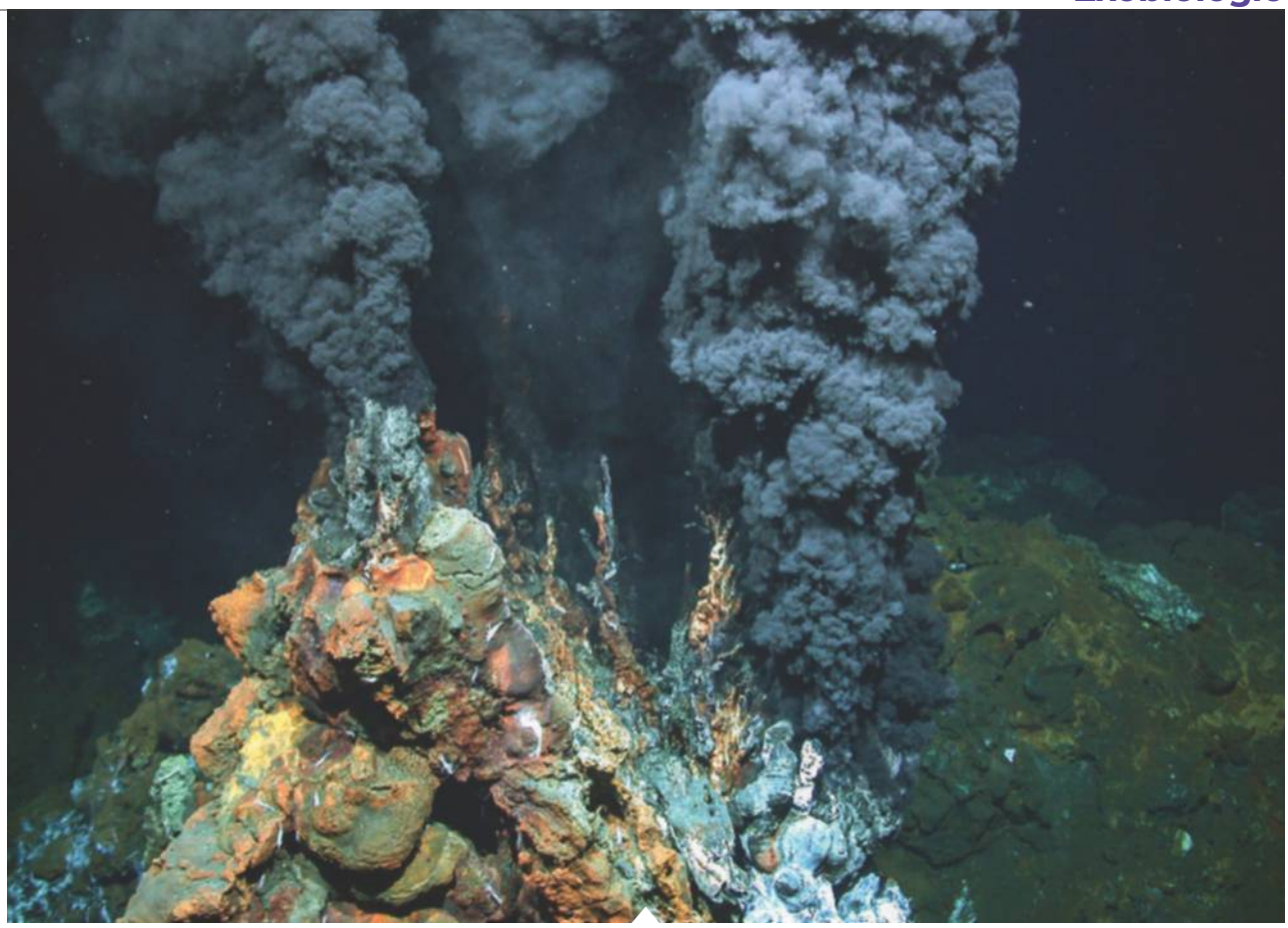
GRÉGOIRE DANGER

Une lampe à plasma d'hydrogène, l'un des instruments de l'institut Origines, à Marseille, servant à l'expérience.

Responsable de l'équipe Astro, Grégoire Danger conduit les expériences avec Louis le Sergeant d'Hendecourt et Robert Pascal. Après une première phase consacrée à la formation extraterrestre de molécules d'intérêt prébiotique, l'équipe s'apprête à redémarrer pour tenter de comprendre rien de moins que l'apparition de la vie. « *Nous supposons,* résume Grégoire Danger, *que la matière organique nécessaire à l'éclosion du vivant est présente dans les comètes et les astéroïdes qui se sont échoués sur Terre il y a 4 milliards d'années.* » D'ailleurs, cela peut sembler surprenant, mais les chercheurs ont une bien meilleure idée du contenu de ce réservoir venu de l'espace que de celui présent sur Terre à la même époque.

Des réservoirs vieux de 4,5 milliards d'années

Des acides aminés, des bases nucléiques, des dérivés de sucres et quantité d'autres molécules ont été identifiés dans des météorites tombées sur Terre. « *On estime,* poursuit Grégoire Danger, *que ces réservoirs exogènes n'ont pas beaucoup changé depuis la stabilisation du Système solaire voilà 4,5 milliards d'années.* » Au départ, des nuages moléculaires denses constitués de gaz et de poussières qui vont accréter de la glace et former des grains interstellaires. Des observations satellitaires par spectrométrie infrarouge ont déterminé que ces grains sont majoritairement composés d'eau, de méthanol, de monoxyde et de dioxyde de carbone, d'ammo-



MARUM CENTER FOR MARINE ENVIRONMENTAL SCIENCES, UNIVERSITY OF BREMEN

Les bulles qui explosent dans les cheminées hydrothermales (ici sur la dorsale médio-atlantique) auraient permis aux molécules prébiotiques de se concentrer, de se rapprocher et d'interagir, produisant ainsi de nouveaux composés.

niaque et de certaines molécules organiques. En concentrant les molécules organiques, ces grains deviennent semblables à des microréacteurs qui vont pouvoir abriter nombre d'évolutions chimiques. Cette matière organique originelle constituera ensuite les comètes et les astéroïdes.

Ces molécules organiques primitives auraient-elles aussi pu se former sur Terre par des processus atmosphériques et géochimiques au sein des volcans ou des sources hydrothermales ? Les connaissances sont ici beaucoup plus floues car elles dépendent de facteurs tels que la géodynamique de la planète, son environnement, sa température, la quantité d'UV reçus du soleil, qui ont énormément varié au fil du temps. Pour mieux comprendre, le laboratoire de Jean-Louis Hazemann à Grenoble essaie actuellement de reproduire les conditions qui règnent en grande profondeur dans les océans, au niveau des sources hydrothermales *(lire les encadrés ci-dessus et p. 42)*. En attendant les résultats, la question reste ouverte.

Grégoire Danger nous conduit à l'entrée du laboratoire PIIM, devant le premier appareil ayant permis d'obtenir les précieux résidus qui vont nourrir le réacteur. Entrelacs de tubes et de tuyaux, il est muni d'une chambre à vide, d'un dispositif cryogénique et d'une multitude de capteurs afin de simuler la formation de grains glacés « primitifs » interstellaires identifiés à travers des observations astronomiques. Mais, une

ÉMERGENCE

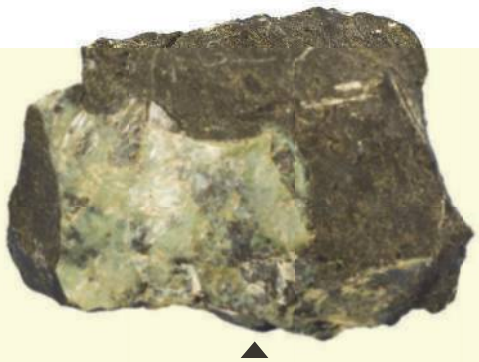
Des bulles aux cellules

Quantité d'éléments et de facteurs ont concouru à faire progressivement émerger la vie sur Terre. L'un d'entre eux : la bulle. Ou, plus exactement, les petites bulles de gaz qui se forment et explosent dans les cheminées hydrothermales.
Le phénomène a été étudié en laboratoire par l'équipe de Dieter Braun (université de Munich, Allemagne). Des molécules prébiotiques placées dans des conditions de fluctuation constante des interfaces entre l'eau et les bulles (en clair, des bulles qui se créent à la surface puis éclatent, puis se reforment, etc.) vont peu à peu se rapprocher, se concentrer de plus en plus, facilitant ainsi les éventuelles réactions qui pourraient se produire. Pour les chercheurs, cela renforce encore plus l'idée que la vie sur Terre a pu émerger du côté de ces sources hydrothermales.

GÉOLOGIE

Et si, en fait, tout s'était passé sur Terre

L'hypothèse d'une origine uniquement terrestre des molécules nécessaires à la vie possède toujours ses solides défenseurs. À Grenoble, Jean-Louis Hazemann, directeur de recherche CNRS à l'institut Néel, est de ceux-là. « *C'est vrai que l'origine extraterrestre est très en vogue. Mais cela ne suffit pas à expliquer l'apparition des molécules prébiotiques,* estime-t-il. *Pour cela, il faut trouver une "usine" comme au niveau de la dorsale océanique. Un chimiste y retrouverait une composition idéale, du dioxyde de carbone (CO_2), du monoxyde de carbone (CO), du gaz hydrogène (H_2) et de l'ammoniac (NH_3). Ensuite, la difficulté est de trouver un catalyseur pour faire réagir le tout.* » Sous la direction de ce géologue, les études menées grâce au synchrotron Fame ont permis de mettre au jour certains des secrets de la serpentine. Ce minéral, issu de l'infiltration des fluides hydrothermaux dans la lithosphère, intéresse particulièrement les spécialistes de la chimie prébiotique. En effet, par leur composition en feuillets truffés d'espaces interstitiels notamment, les serpentines semblent des surfaces réactionnelles idéales. Elles ont pu servir également de lieux de confinement pour des molécules organiques comme les acides aminés, que ces surfaces minérales retiennent et concentrent par nature. De plus, enchâssées dans les interstices, les molécules sont protégées, ce qui fut peut-être essentiel au moment des balbutiements du fragile ARN et de son contenu génétique. Le processus de « serpentinisation » de la lithosphère océanique aurait en outre permis de libérer quantité de nouvelles molécules, notamment du formaldéhyde (HCHO), précurseur de la synthèse d'acides aminés mais également des protéines et de certains composants de l'ARN.



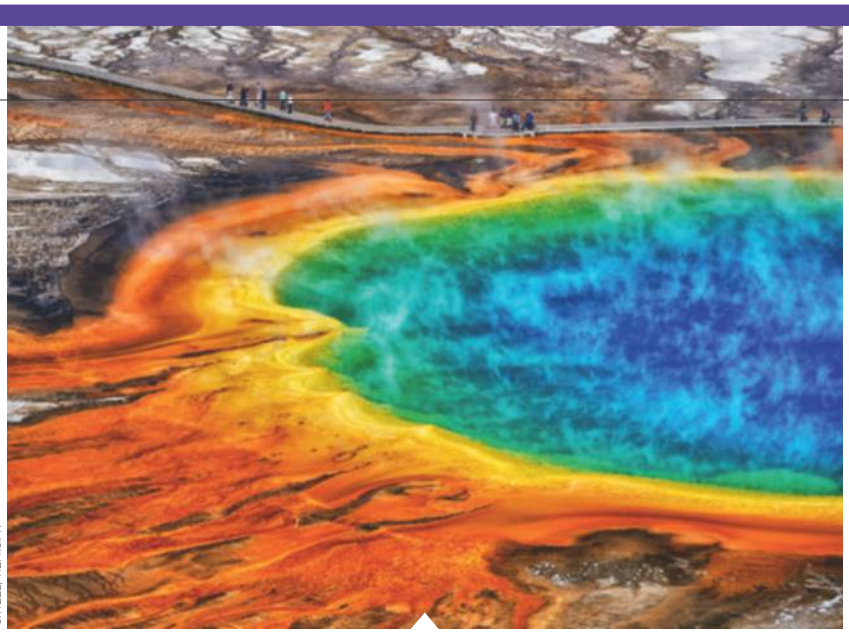
La serpentine, minéral trouvé dans la serpentinite, pourrait avoir joué un rôle dans l'apparition des premières molécules du vivant.

E. KINSMAN/SPL/SUCRÉ SALÉ

fois les molécules organiques primitives obtenues, le plus dur reste à faire. Car la question est désormais de savoir comment ces molécules inanimées ont pu, par leur agencement, leurs évolutions successives et sous la pression des conditions environnementales, franchir la barrière qui les séparait du vivant. Un phénomène qui s'est sans doute déroulé à la surface terrestre.

Le chaînon manquant entre l'inerte et le vivant

L'expérience, qui va démarrer début 2023, plonge les chercheurs marseillais dans l'inconnu le plus total, puisqu'ils n'ont pour l'instant aucune idée de ce qui pourra ressortir du réacteur qu'ils vont nourrir des molécules obtenues. Sous pression d'azote et de dioxyde de carbone — l'atmosphère prédominante aux premiers temps de notre planète —, une température ambiante de 40 °C, une légère acidité (un pH de 6,5) résultant de la dissolution du CO_2 dans l'eau, les scientifiques vont introduire dans le réacteur les molécules et… laisser les réactions se produire. « *L'approche classique dans ce type d'expériences est de se concentrer sur une molécule que l'on voudrait synthétiser à partir de ses précurseurs,* détaille Grégoire Danger. *La nôtre est totalement différente puisque nous allons introduire toutes les molécules déjà obtenues et voir ce qu'il en ressort, sans idée préconçue. Ce sera une approche non dirigée, nous allons laisser le système évoluer tout seul sur le long terme.* » Seules variables sur lesquelles les chercheurs agiront : celles du réacteur. « *Au fur et à mesure,* complète Robert Pascal, *nous modifierons ces paramètres : nous allons ajouter des rayons UV, des ions de cuivre et de fer qui serviront de catalyseurs, etc., jusqu'à ce que nous parvenions à obtenir de nouvelles molécules. Nous allons ainsi complexifier le milieu. L'évolution dans le temps de ces résidus sera suivie par spectrométrie de masse à très haute résolution, ce qui nous fournira un "instantané" de la composition moléculaire des échantillons et permettra de suivre leurs formations et leurs altérations.* » Surtout, les chercheurs espèrent obtenir un assemblage dynamique de molécules qui réponde moins aux lois chimiques,



C. HEEB/HEMIS.FR

Les sources hydrothermales (ici le Grand Prismatic Spring dans le parc national de Yellowstone, aux États-Unis) pourraient avoir été un environnement favorable à l'apparition et à la complexification de la matière organique.

régies par la thermodynamique, qu'il ne se rapproche, par son comportement et son évolution, des molécules biologiques. Soit un système moléculaire qui serait le chaînon manquant entre l'inerte et le vivant. Car, si dans un système chimique classique où un produit A donne un produit B et où la réaction est réversible, en biochimie, les choses s'avèrent très différentes : si A donne B, le système ne revient jamais en arrière, mais est comme entraîné dans son élan par les réactions suivantes. « *Selon nous,* explique Robert Pascal, *le vivant résulte d'une forme de stabilité qui serait différente de la stabilité thermodynamique et qui naîtrait de la capacité des systèmes à se reproduire et à évoluer, ce que le chimiste israélien Addy Pross a nommé "stabilité cinétique dynamique". Avec ce chercheur, nous avons en outre démontré que, dans ce cadre, pour éloigner le système chimique de son équilibre, il faudrait un potentiel énergétique suffisamment élevé que le Soleil aurait pu fournir.* » S'agissant de l'origine de la vie, la stabilité cinétique dynamique n'est pour l'instant qu'une approche théorique, un concept qui n'a pas été démontré expérimentalement, mais les scientifiques marseillais espèrent parvenir à prouver son existence et sa viabilité.

Pour inédite qu'elle soit, l'approche expérimentale choisie par Robert Pascal et Grégoire Danger n'est pas assurée du succès. Notamment parce qu'il existe un paramètre sur lequel les chercheurs n'ont aucune prise : le temps. Si la transition entre l'inerte et le vivant a pris des centaines d'années, voire davantage, il pourrait être impossible de la reproduire. « *Le temps n'est effectivement pas compressible,* explique Grégoire Danger. *C'est le paramètre le plus critique et celui sur lequel nous ne pouvons intervenir. Aura-t-on le temps d'observer une telle transition ?* » Les deux chercheurs se rassurent toutefois en affirmant que leur but n'est pas tant de parvenir à la synthèse d'une cellule vivante, un processus complexe qui effectivement pourrait s'étaler sur un temps très (trop) long, que d'assister à cette transition entre l'inerte et quelque chose qui ressemble au vivant par ses caractéristiques et son comportement. Et comprendre ainsi comment les différents paramètres environnementaux l'auront rendue possible. « *De toutes les manières, nous ne parviendrons jamais à refaire l'histoire de la vie sur Terre,* avoue Robert Pascal. *Je crains que cela dépasse les capacités de l'esprit humain.* » « *En revanche,* ajoute Grégoire Danger, *estimer comment le processus du vivant s'est mis en place, ça, nous pensons que c'est totalement de l'ordre du possible.* »

Une recherche qui ouvre bien d'autres perspectives

La recherche ne parviendra peut-être jamais à reproduire le mécanisme ayant abouti à une cellule vivante, mais elle n'en ouvre pas moins d'autres perspectives, assure Marco Saitta, directeur de l'Institut de minéralogie, de physique des matériaux et de cosmochimie (Sorbonne Université, Paris), qui participe à l'expérience de Grenoble sur les sources hydrothermales : « *Il est tout à fait possible que la vie se soit développée en différents endroits du globe, que les cycles ininterrompus faisant se succéder le jour, la nuit, la pluie, le soleil, et ce sur des milliers d'années, aient pu aboutir à plusieurs formes de vie différentes. Aujourd'hui, nous n'en connaissons qu'une, puisque toutes les formes de vie actuelles sont issues d'un même ancêtre phylogénétique, mais peut-être n'en a-t-il pas toujours été ainsi ? Le vivant s'est peut-être développé sous plusieurs formes totalement différentes et, selon une sélection darwinienne, une seule a finalement dominé pour se répandre à la surface de la planète.* » Et si ces expériences nous amenaient à mettre au jour une autre forme de vie ? ■

H. R., envoyé spécial à Marseille

GRÉGOIRE DANGER

« Nous allons introduire dans le réacteur toutes les molécules déjà obtenues et voir ce qu'il en ressort, sans idée préconçue »

Grégoire Danger, chercheur au laboratoire Physique des interactions ioniques et moléculaires de l'institut Origines, université Aix-Marseille

CHRISTOPHE MALATERRE
PHILOSOPHE DES SCIENCES DE LA VIE À L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL (CANADA)

« Des structures plus ou moins vivantes ont dû d'abord émerger »

Selon le chercheur Christophe Malaterre, l'apparition de la vie a sans doute été graduelle, englobant des entités inclassables qui possèdent certaines propriétés du vivant mais pas toutes. Et c'est ce type de systèmes qu'il faudrait pouvoir synthétiser en laboratoire.

Acides aminés, sucres, bases nucléiques constituant les molécules d'ADN… On découvre de plus en plus de molécules constitutives du vivant dans des objets extraterrestres. Quelles sont les implications pour les recherches sur l'origine de la vie ?
Afin de replacer ces résultats dans une perspective historique, rappelons qu'un premier changement de paradigme s'est opéré au début du XIXe siècle. Des chimistes — tel l'Allemand Friedrich Wöhler — montrent alors que les molécules qualifiées d'organiques, comme l'urée ou les sucres, ne sont pas spécifiques aux organismes vivants. Elles ne sont dotées d'aucune « force vitale » particulière, puisqu'on peut les synthétiser à partir de substances qui n'ont rien à avoir avec la vie, tels l'acide cyanique ou le cyanure d'hydrogène. Leur seule caractéristique notable est qu'elles sont toutes fondées sur la chimie du carbone. Une autre étape majeure survient en 1953 sous l'impulsion de l'Américain Stanley Miller. Alors que ce dernier cherchait à reproduire les conditions de l'atmosphère terrestre primitive, il démontre qu'une grande diversité de molécules organiques comme les acides aminés peuvent se former spontanément : à partir de méthane, d'ammoniac, d'eau et de dihydrogène en particulier, exposés à une source d'énergie et simplement mélangés. Or, ces dernières années — et c'est là une troisième découverte d'importance qu'on doit à l'analyse fine des objets extraterrestres —, on s'est rendu compte que la chimie froide de l'espace produit elle aussi une grande diversité de composés organiques, bien plus vaste que dans les systèmes biologiques. Ce qui confère aux molécules du vivant un caractère finalement banal, contrairement à ce qu'on a longtemps imaginé !

Est-ce à dire que la vie pourrait plus facilement apparaître dans le cosmos ?
Cette chimie de l'espace tend à augmenter les probabilités d'apparition de la vie, dans la mesure où il n'est pas nécessaire d'avoir des conditions similaires à la Terre primitive pour produire des molécules organiques. Il reste

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC, MONTRÉAL

BIO EXPRESS

- **2008** Doctorat en philosophie à l'université Paris I-Panthéon-Sorbonne.
- **2010** Prix Jeune Chercheur de la Société française de philosophie des sciences.
- **2013** Parution du livre *De l'inerte au vivant. Une enquête scientifique et philosophique*, éditions La Ville Brûle, coécrit avec Patrick Forterre, Louis d'Hendecourt et Marie-Christine Maurel.
- **2016** Titulaire de la Chaire de recherche du Canada en philosophie des sciences de la vie.

IGS CNRS-AMU

« Pandoravirus quercus », découvert à Marseille en 2017, est un genre de virus géant pandoravirus, dont le caractère atypique brouille la frontière entre mondes viral et cellulaire.

encore à démontrer, cependant, que les météorites tombées sur notre planète auraient apporté quelque chose d'unique qui n'existait pas sur Terre et qui serait fondamental pour passer de l'inerte au vivant. C'est encore plus vrai pour les systèmes exoplanétaires, liés à d'autres étoiles que le Soleil, où la chimie spatiale pourrait être très différente. La seule chose qu'on peut donc affirmer est qu'une très grande diversité de molécules organiques était présente sur Terre il y a plus de 4 milliards d'années.

Que faire avec toutes ces molécules ?

Telle est bien la difficulté ! Car devant une telle profusion de molécules, l'éventail des possibles devient extrêmement large, complexifiant encore plus les travaux sur l'origine de la vie. Ne pouvant aborder cette question dans sa globalité, les chercheurs doivent donc la décomposer en sous-problèmes, en relâchant à chaque fois un certain nombre de contraintes. Une méthode se concentre ainsi sur ce qui pourrait émerger du brouhaha moléculaire. En traquant, notamment, des premiers signes d'auto-organisation, comme des systèmes autocatalytiques amplifiant eux-mêmes certains produits réactionnels. Cette approche n'en est qu'à ses balbutiements. Et fait l'impasse sur la série d'événements historiques qui se seraient succédé sur Terre pour former la vie telle que nous la connaissons. Une autre grande stratégie se focalise sur de possibles étapes clés. Elle consiste à piocher, dans le répertoire moléculaire, un nombre restreint d'ingrédients afin de tenter de reproduire de façon dirigée une propriété particulière du vivant. Mais les expérimentateurs renoncent alors au caractère spontané de l'origine de la vie.

Quelles sont ces propriétés qui définissent le vivant ?

La définition de la Nasa fait l'objet d'un relatif consensus. Adoptée depuis une trentaine d'années, elle pose que *« la vie est un système chimique capable de s'auto-entretenir et d'évoluer par sélection naturelle »*. Cette acception englobe elle-même une série de fonctionnalités communes aux organismes vivants. Comme chez la bactérie *Escherichia coli*, par exemple, qui de manière très sophistiquée peut encoder de l'information, se reproduire, évoluer, s'individuer grâce à une membrane et interagir avec son environnement. La frontière n'est pourtant pas si évidente et binaire que cela. Car certaines entités se situent dans une sorte de zone grise, possédant certaines propriétés mais pas toutes. Elles apparaissent ainsi plus vivantes que des cailloux, mais beaucoup moins que *E. coli* ! Tel est le cas de la bactérie *Carsonella ruddii*, qui recèle le plus petit génome bactérien connu, encodant pour une centaine de protéines seulement et possédant des capacités extrêmement réduites ; des pandoravirus, dont l'activité métabolique reste très limitée mais qui sont aussi gros que des bactéries ; ou encore des plasmides, fragments d'ADN qui se répliquent de façon autonome dans des bactéries sans être essentiels à leur survie.

D'où viennent ces entités inclassables ?

La question n'est pas encore tranchée. Mais le fait même que ces entités existent indique une possibilité : celle que des systèmes plus ou moins vivants selon nos standards actuels aient pu exister sur Terre il y a quelque 4 milliards d'années. Car l'apparition de la vie a été sans doute graduelle, passant par des systèmes pas si vivants que cela… Et c'est ce type de systèmes, précisément, capables par exemple de s'autorépliquer ou de se modifier avec le temps mais sans être pleinement vivants, qu'il faudrait pouvoir synthétiser en laboratoire à partir de composés organiques. Ce serait en soi une immense avancée. ■

Propos recueillis par F. D. @fdaninos

JETON NUMÉRIQUE Actif généré automatiquement par le programme d'une blockchain. Il peut être utilisé comme une monnaie (bitcoin, ether) mais aussi comme une donnée d'identification, pour exécuter les termes d'un contrat, etc.

MINEUR Par analogie avec l'extraction de l'or, nom donné aux membres d'une blockchain qui reçoivent de la cryptomonnaie en échange de la création (ou « extraction ») de blocs.

SATOSHI NAKAMOTO Pseudonyme de l'inventeur de la blockchain Bitcoin. On ignore qui il ou elle est (ce peut aussi être un collectif). Après avoir interagi sur des forums en ligne, il a disparu fin 2010.

La révolution verte de la « blockchain »

Ethereum, le réseau de transactions décentralisé le plus connu après Bitcoin, a procédé à un changement du processus de validation des opérations. Résultat : une chute drastique de sa consommation d'électricité.

Imaginez une industrie qui, du jour au lendemain, réduit sa consommation d'électricité de… 99,99 % ! Aussi impensable que cela puisse paraître, c'est exactement ce qui est arrivé à la *blockchain* (chaîne de blocs) Ethereum le 15 septembre. Ce réseau de transactions décentralisé cousin de la blockchain Bitcoin est passé ce jour-là d'une consommation de 19,45 térawattheures (TWh) à 2,1 mégawattheures (MWh). Le 21 novembre, le chiffre était de 2,9 MWh. Mieux: dans le magazine *Time*, l'un des développeurs les plus en vue d'Ethereum, le Britannique Justin Drake, affirmait que les modifications apportées sur le réseau allaient faire baisser la consommation mondiale d'électricité de 0,2 %.

L'explication tient en un mot : fusion. Il désigne le changement, annoncé depuis plusieurs années, du processus originel de validation des transactions, ce que l'on appelle la « méthode de consensus ». Depuis sa création en 2015, Ethereum utilisait la « preuve de travail » (*proof of work*) ; elle est passée en « preuve d'enjeu » (*proof of stake*). La première méthode repose sur des fonctions mathématiques et sollicite la puissance de calcul des ordinateurs des membres du réseau. La seconde est un mécanisme économique bien moins énergivore.

Il était hors de question, pour les développeurs d'Ethereum, que cette opération entraîne des dysfonctionnements. *« Ils ont d'abord mis la preuve d'enjeu en mode test, mais complètement fonctionnel, en parallèle de la preuve de travail,* explique Manuel Valente, directeur scientifique de Coinhouse, société spécialisée dans l'achat et la vente de cryptomonnaies. *Au bout d'un moment, le mécanisme en preuve de travail a été coupé et n'est restée que la preuve d'enjeu.* » D'où cette notion de « fusion » des deux systèmes.

Le participant doit choisir entre deux statuts

Pour comprendre, il faut revenir aux origines et à la blockchain Bitcoin. Apparu dans les faits en janvier 2009, conçu par un mystérieux développeur nommé

AKOS STILLER/BLOOMBERG/GETTY IMAGES

D'importantes ressources informatiques sont mobilisées par les blockchains, notamment pour sécuriser les échanges (ici, les plateformes exploitant les cryptomonnaies Ethereum et Ziliqa installées à Cluj-Napoca, en Roumanie).

Satoshi Nakamoto, ce programme informatique est un système monétaire numérique sur lequel ni les banques, ni les États, ni aucun organisme central n'a la main. Tout se passe directement entre utilisateurs. Les échanges de cryptomonnaies sont validés et enregistrés par leurs ordinateurs à travers des protocoles informatiques et cryptographiques automatisés. Les utilisateurs constatent aussi tout ce qu'il se passe sur le réseau depuis leur machine, la blockchain s'apparentant à un grand registre comptable en ligne.

N'importe qui peut participer, mais il faut choisir entre deux statuts : « mineur » ou simple « nœud ». Les « mineurs » s'emparent d'un certain nombre de transactions entre utilisateurs, en vérifient les informations (adresses des comptes, solvabilité…) et les stockent dans un « bloc », c'est-à-dire un dossier contenant, sur Bitcoin, 1 mégaoctet de données. Ce sont les mineurs qui génèrent les blocs en s'attaquant à un problème informatique posé par le programme de la blockchain dont la solution est (quasi) aléatoire. Celle-ci correspond à une empreinte numérique, un « hash », qui sert de preuve que le mineur a fait son travail : c'est la « preuve de travail ». La trouver nécessite des millions d'itérations, selon le principe de la force brute, et elle diffère d'un bloc à l'autre. Cela déclenche une compétition entre mineurs, chacun lançant dans la bataille ses ressources informatiques. Le vainqueur reçoit une récompense en bitcoins.

En 2021, des chercheurs britanniques ont calculé que la consommation annuelle d'électricité de la « blockchain » Bitcoin était supérieure à celle de l'Argentine

ÉNERGIE

Le minage ou l'écologie par intérêt

L'énorme consommation électrique des blockchains en preuve de travail ne fait pas débat, mais cela n'en fait pas automatiquement une activité polluante. Pour certains experts, ce serait même l'inverse ! « *La vraie question est celle de la production énergétique. Or, il n'y a aucun intérêt à miner à partir d'énergies fossiles* », relève Stanislas Barthélémi, de KPMG. Les mineurs, contrairement aux idées reçues, traquent les énergies en surproduction impossibles à stocker. Autrement dit, les énergies renouvelables comme le solaire, l'éolien, l'hydroélectricité. En vertu des aléas naturels, et selon les régions du monde, les pics de production ne trouvent en effet pas toujours preneurs. Plutôt que de ne rien vendre du tout, les producteurs bradent alors les prix, attirant les mineurs de cryptomonnaies. Ce n'est donc pas tant une conscience verte qui anime ces derniers qu'un intérêt économique. Des sociétés fournissent même des serveurs informatiques installés sur des semi-remorques, permettant aux mineurs de se déplacer d'un site de production à l'autre au gré des tarifs. Au Salvador, en septembre 2021, le bitcoin est devenu une monnaie officielle au même titre que le dollar américain. L'État a alors demandé à la compagnie publique LaGeo d'exploiter la géothermie au pied des volcans pour le minage de la cryptomonnaie, avec, là encore, des serveurs informatiques stockés dans des conteneurs mobiles. L'Islande est aussi une région de choix pour la même raison. Au Texas, une autre tendance est en cours : se servir des gaz de torchage issus de l'extraction pétrolière, du méthane bien plus générateur d'effet de serre que le CO_2. Même si cela est techniquement possible, il est trop compliqué et coûteux de transformer ces gaz en énergie électrique qu'il faut ensuite acheminer vers les consommateurs, géographiquement trop éloignés. Plus de 90 % sont donc brûlés et le reste s'échappe directement dans l'atmosphère. D'où l'idée d'injecter tout le méthane dans une turbine pour le transformer en électricité alimentant des serveurs de minage.

EZ BLOCKCHAIN

Cette unité mobile de minage de cryptomonnaies est alimentée par les gaz de torchage provenant de l'extraction de pétrole (ici aux États-Unis).

- Les nœuds, eux, vérifient ce travail. Si une seule transaction pose un problème, tout le bloc est rejeté. Si tout va bien, le nœud envoie le bloc aux nœuds voisins dans le réseau, qui font de même avec leurs voisins et ainsi de suite. Le bloc s'enregistre de cette manière chez tous les membres de la blockchain. Il est lié cryptographiquement au bloc qui le précède en intégrant le *hash* de ce dernier. Ce procédé crée la fameuse « chaîne » de blocs qui donne son nom au système. À partir de là, les transferts de bitcoins entre utilisateurs peuvent avoir lieu.

Des machines qui tournent jour et nuit

Pour servir de nœud, un simple ordinateur de bureau suffit, voire un Raspberry Pi, un nano-ordinateur réduit à un processeur. Par contre, de l'espace disque est nécessaire pour stocker la blockchain, environ 500 Go pour Bitcoin. « *Il faut investir dans du matériel, la plupart du temps très cher,* poursuit Manuel Valente. *Pour fixer les idées, aujourd'hui, il faut un hangar rempli de machines.* » Des sociétés proposent des « coopératives de minage », permettant à des utilisateurs de combiner leurs puissances informatiques pour partager les revenus de minage, la répartition étant proportionnelle à l'apport de chacun. Les gains sont plus réduits, mais plus réguliers.
Or, puisqu'elle exploite la puissance d'ordinateurs qui tournent jour et nuit, la preuve de travail demande énormément d'électricité. Au point qu'en 2021, des chercheurs de l'université de Cambridge (Royaume-Uni) situaient la consommation annuelle d'électricité de la blockchain Bitcoin devant celle de l'Argentine. Début 2022, le Kosovo interdisait carrément le minage de cryptomonnaies pour éviter les *black-out*. Les cryptomineurs du Texas ont réduit leur activité à la demande des autorités pour les mêmes raisons, face aux vagues de froid et d'extrême chaleur.
Les blockchains créées après Bitcoin, comme Namecoin, Litecoin, Primecoin

ou Ethereum à l'origine, ont repris la preuve de travail. Mais une deuxième génération opte pour la preuve d'enjeu. Au lieu de « mineurs », on parle de « validateurs ». *« Ils bloquent une somme dans un contrat de séquestre et, pour chaque bloc, un tirage au sort désigne celui qui va le valider et les autres vérifient les transactions contenues dedans »*, résume Stanislas Barthélémi, spécialiste en cryptomonnaie chez KPMG. Sur Ethereum, le séquestre minimal est de 32 ethers (la cryptomonnaie de cette blockchain valant 1 200 euros début novembre 2022) et la probabilité d'être tiré au sort sera proportionnelle au capital mis en jeu. Il n'y a plus de compétition entre des millions d'ordinateurs, plus de course à la puissance informatique. *« Une seule machine fait le travail en quelques secondes, un ordinateur portable est largement suffisant,* note Manuel Valente. *L'énergie consommée se résume à celle de cet ordinateur et de ceux qui vérifient ce qu'il se passe. »*
Le validateur est rémunéré en ethers pour cette opération et perçoit en outre des frais de transactions. Mais il peut aussi être sanctionné s'il fait mal son travail en perdant une partie de son capital (voire la totalité, en cas de circonstances extrêmes).
Le système n'est cependant pas exempt de faille. Cette mise de 32 ethers se dresse comme une barrière pour les utilisateurs les moins dotés en capital. Les plus riches, eux, s'ils atteignent 50 % des sommes mises en enjeu, pourraient contrôler le réseau, à rebours de l'idéal de décentralisation. *« C'est possible car il existe des coopératives d'enjeu pour les petits porteurs, comme il existe des coopératives de minage en preuve de travail,* note Renaud Lifchitz, directeur scientifique de la société de sécurité informatique Holiseum. *La récompense est calculée en fonction de ce que chacun a apporté. Or, une coopérative comme la société Lido représente déjà 30 à 40 % des sommes mises en enjeu sur Ethereum. »* À plus de 50 %, elle serait désignée plus d'une fois sur deux comme validateur avec la capacité, en théorie, de refuser des transactions comme bon lui semble, notamment celles de sociétés concurrentes ! En pratique, il faut atteindre 66 % du capital. Mais cela reviendrait quoi qu'il en soit à créer de la défiance et donc à mettre à bas tout le projet de blockchain.

Pouvoir traiter plus de transactions à la seconde

La consommation d'électricité en preuve de travail joue aussi un autre rôle que la seule alimentation, fait remarquer Renaud Lifchitz : *« C'est comme un contrepouvoir : personne ne peut contrôler plus de 50 % de l'énergie à l'échelle mondiale, donc personne ne peut contrôler la sécurité des blockchains en preuve de travail. Contrairement à la preuve d'enjeu où tous les mécanismes sont endogènes. »*
En fait, aucune méthode n'est meilleure qu'une autre, chacune correspond à la philosophie de chaque blockchain. Contrairement à Bitcoin, Ethereum ne craint pas d'évoluer pour diversifier ses applications au-delà des échanges de cryptomonnaie. L'adoption de la preuve d'enjeu n'est pas un but en lui-même, mais une étape technique parmi d'autres. La vraie transformation attendue sur la blockchain Ethereum s'appelle le « sharding ». Elle va créer des sous-blockchains, et donc multiplier les groupes de validateurs. Cela permettra de traiter bien plus de transactions à la seconde (20 actuellement) et de réduire les frais de transaction. *« Pour l'utilisateur final, ce sont ces changements qui seront les plus lisibles »*, estime Renaud Lifchitz. Initialement, le sharding devait même avoir lieu avant la preuve d'enjeu. Mais une partie des utilisateurs, notamment les entreprises désireuses d'avoir des usages professionnels de la blockchain mais dans le respect des normes sur leur responsabilité sociale, ont poussé en avant le sujet de la consommation d'électricité. Quand les enjeux sociétaux et les stratégies de développement se rejoignent… ■

Arnaud Devillard
@A_Devila

APPLICATIONS

Bitcoin, Ethereum et les autres

Namecoin, Solana, Monero, Litecoin, Algorand… Il existe quantité de blockchains, certaines anecdotiques. Si toutes ont les mêmes bases (cryptographie, blocs, jetons numériques), ce sont leurs vocations qui diffèrent. Bitcoin reste focalisée sur les échanges de cryptomonnaies, mais Ethereum se développe autour des contrats intelligents, des transactions qui s'exécutent en fonction de certaines conditions. Selon ses applications, une blockchain peut jouer sur son niveau de sécurité et de décentralisation, le rythme de création des blocs (un toutes les deux minutes et demie sur Litecoin, toutes les dix minutes sur Bitcoin), la quantité et le rythme d'émission des jetons, etc. Des blockchains dites oracles consultent des données sur Internet pour exécuter des contrats intelligents (météo, résultats sportifs, cours de Bourse…).

COINHOUSE

« Avec la preuve d'enjeu, l'énergie consommée se résume à un seul ordinateur et à ceux qui vérifient ce qu'il se passe »

Manuel Valente, directeur scientifique de Coinhouse, société française spécialisée dans l'achat et la vente de cryptomonnaies

GAIL ALBERT HALABAN

Plus d'un tiers de l'électricité en France est consommé par les particuliers. Un constat qui impose d'adopter au quotidien de nouveaux comportements tels qu'abaisser de 2 °C le chauffage du logement, éteindre les appareils en veille, isoler davantage…

Sobriété énergétique

Les vrais leviers pour y parvenir

État, entreprises, collectivités et particuliers doivent s'empresser de revoir leurs habitudes de consommation énergétique. Mais à quoi s'attaquer en priorité pour y parvenir ? Les chiffres théoriques sont parfois éloignés de la réalité. « Sciences et Avenir-La Recherche » a compilé les études de référence les plus récentes pour identifier les actions les plus efficaces.

Par Loïc Chauveau @Loic_Chauveau

Pour le gouvernement d'Élisabeth Borne, c'est une *« mobilisation générale »* où *« chaque geste compte »*. Pour éviter les ruptures d'approvisionnement, les Français sont invités à mieux surveiller leur consommation d'énergie et pourraient dès ce mois de janvier devoir réduire leurs besoins avec le service Écowatt — qui qualifie en temps réel le niveau de consommation des Français — voire subir des coupures pour passer les pics de consommation que redoute RTE, le gestionnaire du réseau électrique. La guerre en Ukraine et l'arrêt des livraisons du gaz russe qui en découle, la faible disponibilité du parc nucléaire, dont près de la moitié des réacteurs est à l'arrêt, un été torride, signe de l'impact croissant du changement climatique, ont sifflé la fin de cinquante ans de laxisme. Et pour le gouvernement, aucun retour en arrière n'est possible. 10 % d'économies sont visés dans les deux ans, mais pour atteindre la neutralité carbone, la consommation devra baisser de moitié d'ici à 2050.

C'est principalement dans la vie quotidienne, à la maison et au travail, que les comportements doivent changer, ainsi que le montrent les parts de consommation. Le gaz est en effet utilisé pour moitié dans les bâtiments (logements et activités tertiaires, bureaux et commerces) et pour 20 % dans la production d'électricité, notamment lors des périodes de pointe, contre 28 % pour l'industrie. L'électricité elle-même est consommée à hauteur de 36 % dans le secteur résidentiel, 47 % dans les activités tertiaires et commerciales, contre 17 % dans l'industrie.

Cela signifie-t-il un retour à la bougie ? Certes non, tant le gaspillage est ancré dans nos habitudes dispendieuses. Les gestes demandés sont simples, n'exigent pas d'efforts insurmontables et ne visent que ces kilowattheures dépensés sans nécessité.

Chauffer les logements et bureaux à 19 °C

C'est la mesure phare. Aujourd'hui, en moyenne, les logements et les immeubles de bureau sont chauffés à 21 °C. Or, abaisser la température de 1 à 2° permet d'économiser de 8 à 16 % de la facture selon les dernières données de l'Ademe, l'agence de la transition écologique. Pour le gouvernement, près de la moitié des 50 térawattheures (TWh) d'économies espérées proviennent de ce simple geste qui n'impose que de mettre un pull à la maison ou au travail. Selon les calculs de l'association négaWatt qui regroupe les entreprises spécialistes de la gestion de l'énergie, il suffit que 30 à 40 % des ménages suivent la consigne pour obtenir une réduction de 7000 à 9500 gigawattheures (GWh). Avec 80 % des foyers impliqués, l'économie est de 23 500 GWh, soit 23,5 TWh. Et d'autres gestes peuvent venir en complément. Réduire de 2 °C la température la nuit (déjà conseillé pour mieux dormir) permet d'épargner 3300 GWh. La diminuer de 2 °C lors des absences en journée et chauffer uniquement les pièces occupées, c'est 3400 GWh de moins. Cette dernière mesure n'est pas encore entrée dans les mœurs. Les gestionnaires du réseau RTE et Enedis ont en effet constaté que la hausse de la consommation des logements lors des périodes de confinement n'a pas été effacée par le retour au lieu de travail ou la diminution des jours de télétravail.

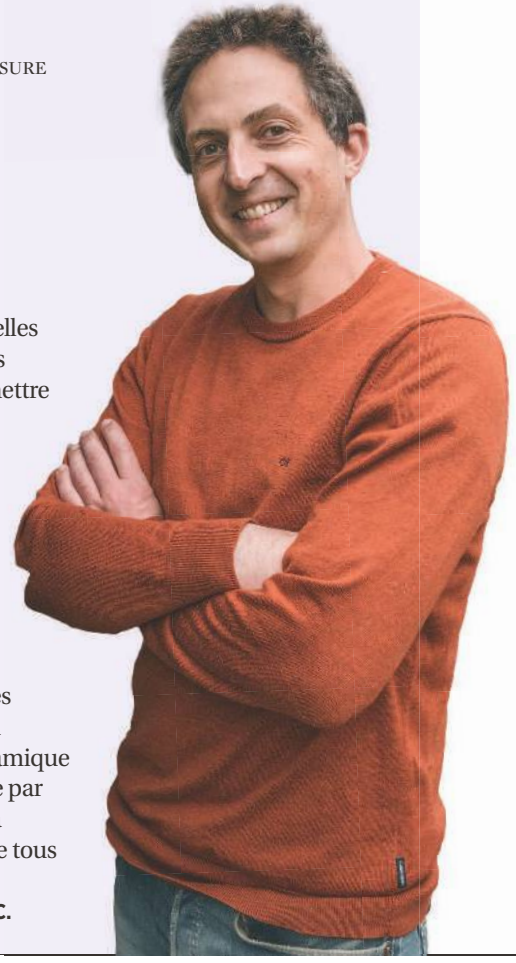
Réduire les dépenses des appareils d'eau chaude sanitaire

L'hygiène corporelle, la cuisine, le lave-linge et le lave-vaisselle dépendent pour 15 millions de foyers d'un appareil mal connu de ses utilisateurs : le chauffe-eau électrique à effet joule. Les fameux « cumulus » représentent plus de 12 % de la consommation d'énergie des foyers. En 2021, les ingénieurs du bureau d'études Enertech mandatés

SAMUEL MARTIN

INGÉNIEUR DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE ET D'AGROPARISTECH, CORESPONSABLE DU PÔLE MESURE D'ENERTECH, EXPERT BÂTIMENT DE L'ASSOCIATION NÉGAWATT

« Nous sommes assis sur une montagne de gaspillage »



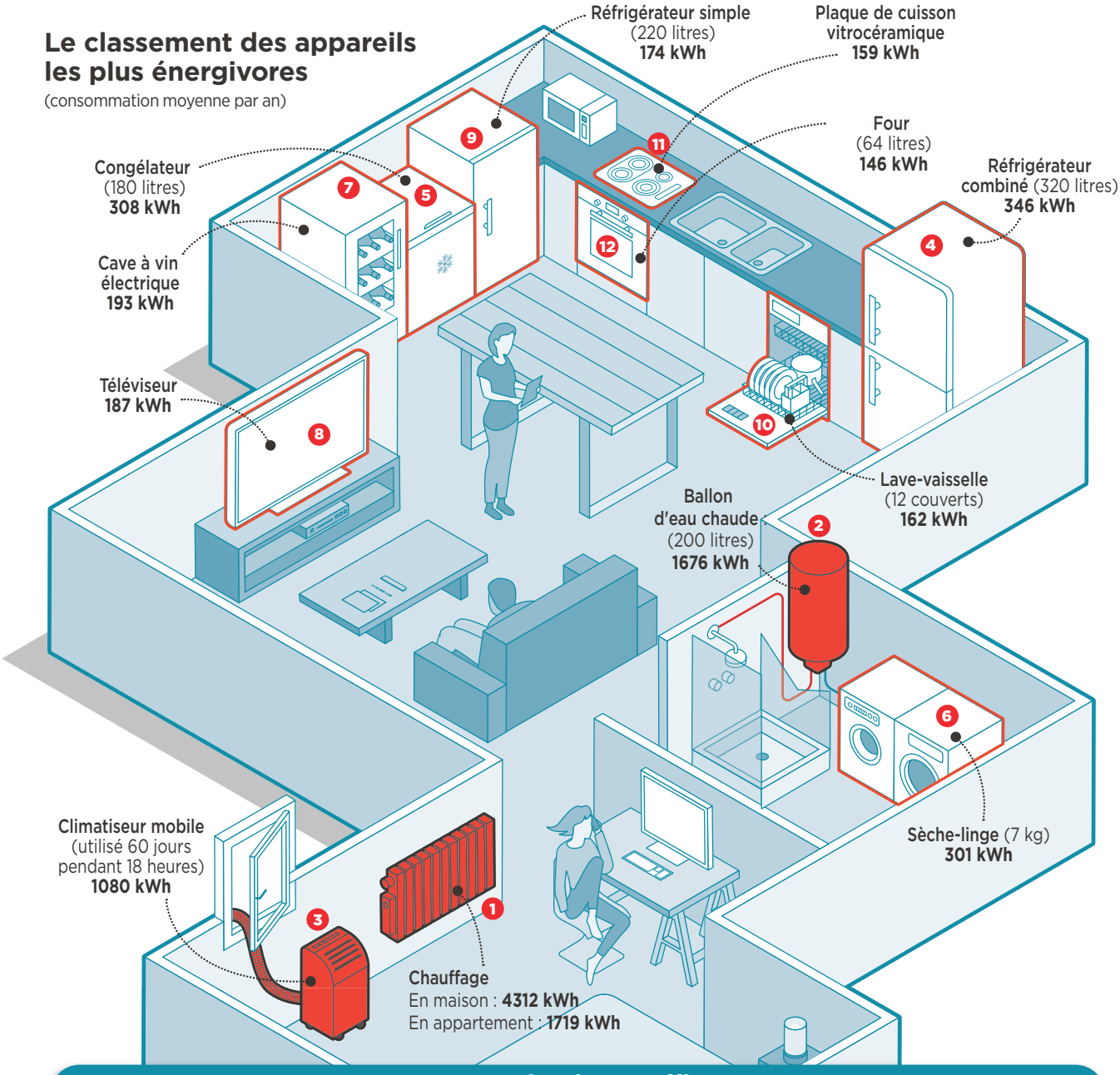
ARNO BRIGNON / SIGNATURES POUR SCIENCES ET AVENIR LA RECHERCHE

« Mesurer les consommations du chauffage et des appareils électroménagers d'un logement n'est pas chose aisée. Si les constructeurs mettent en avant des performances grâce notamment aux « étiquettes énergie », les conditions d'utilisation ne reflètent pas les résultats de laboratoire. Pour le comprendre, 20 000 appareils de mesure sont utilisés depuis plus de vingt ans pour mener des campagnes d'observation de cas concrets. Ainsi, le projet Panel Elecdom consiste à enregistrer la consommation d'électricité de 2480 appareils dans 100 logements représentatifs du parc français. Cela a permis de détailler la répartition de consommation des différents usages.
Ce que nous constatons, c'est que nous sommes assis sur une montagne de gaspillage. Sans affecter notre confort, nous pourrions diminuer la consommation moyenne des logements d'environ 30 %. L'étiquette énergie a certes très bien rempli son rôle et les appareils actuels sont bien moins énergivores qu'il y a quelques années.
Mais persistent de nombreuses failles telles les veilles inutiles des appareils. Pour permettre la mobilisation des gisements d'économies et réduire de manière effective le gaspillage énergétique, il faut rendre visibles et compréhensibles les moyens de réduire les consommations afin d'entraîner une dynamique collective, orchestrée par l'État et appelant à la responsabilisation de tous les acteurs. »

Propos recueillis par L. C.

Le classement des appareils les plus énergivores

(consommation moyenne par an)


Réfrigérateur simple (220 litres) 174 kWh
Plaque de cuisson vitrocéramique 159 kWh
Four (64 litres) 146 kWh
Réfrigérateur combiné (320 litres) 346 kWh
Congélateur (180 litres) 308 kWh
Cave à vin électrique 193 kWh
Téléviseur 187 kWh
Lave-vaisselle (12 couverts) 162 kWh
Ballon d'eau chaude (200 litres) 1676 kWh
Sèche-linge (7 kg) 301 kWh
Climatiseur mobile (utilisé 60 jours pendant 18 heures) 1080 kWh
Chauffage
En maison : 4312 kWh
En appartement : 1719 kWh

Des gestes simples et efficaces

Laver sa vaisselle à 50 °C ou avec le programme « éco » permet de consommer jusqu'à 45 % d'électricité en moins qu'un programme intensif.

Laver son linge à 30 °C permet de consommer 3 fois moins d'énergie qu'un lavage à 90 °C et 2 fois moins qu'un lavage à 60 °C.

Éteindre les appareils en veille permet de réduire jusqu'à 15 % de la facture d'électricité (hors chauffage et eau chaude).

Opter pour un petit écran de TV Un téléviseur de 160 cm (longueur de diagonale) consomme autant que 3 ou 4 téléviseurs de 80 cm.

Un ventilateur plutôt qu'un climatiseur Un climatiseur mobile de classe A consomme plus de 130 € par mois d'utilisation, soit jusqu'à près de 30 fois plus qu'un ventilateur.

BRUNO BOURGEOIS - SOURCE : ADEME

par l'Ademe ont démontré une véritable gabegie : pertes statiques des appareils, absence de contrôle des températures stockées, variabilités des débits, et une tendance au gaspillage. Malheureusement, les études sur le comportement des individus manquent. Les ingénieurs assurent qu'un cocktail de mesures techniques — comme les jaquettes isolantes sur les cumulus, le thermostat électronique pilotable ou les dispositifs économes placés aux robinets et pommes de douche — associé à une prise de conscience des habitants du logement sur les pertes en eau, en énergie et en argent aurait des effets spectaculaires. Les économies pourraient atteindre 615 kWh par an et par logement, soit une réduction de 38 % de la consommation. Mesure plus directive, Enedis va procéder à la coupure entre 12 heures et 14 heures tous les jours jusqu'au 15 avril des cinq millions de chauffe-eau sous contrat heures pleines/heures creuses et dépendant d'un compteur Linky. Cette désactivation, indolore pour les usagers, permet d'effacer la pointe du midi et pourra économiser 3 % de la consommation nationale, soit la production de deux centrales nucléaires.

Isoler à bas coût

Pour atteindre la neutralité carbone, il faudra isoler la totalité des 37,2 millions de logements que compte la France, dont une majorité construite avant 1975 et les premières réglementations thermiques. Ces travaux lourds, qui demandent des financements très importants, ont pris du retard et prendront du temps. Pour passer la période actuelle, l'association négaWatt propose trois techniques faciles à mettre en œuvre et peu onéreuses : la pose de films isolants sur les fenêtres en simple vitrage, le renforcement de l'étanchéité des fenêtres et portes par la pose de bandes de joints autocollants et l'isolation des combles perdus en utilisant le soufflage de ouate de cellulose. Gain de ces trois mesures : 25 000 GWh.

Éteindre la veille des appareils

Les fabricants ont certes progressé mais, malgré tout, 15 % de la consommation d'électricité de chaque foyer proviennent de ces petites leds rouges toujours allumées. Le gisement d'économie est de 11 400 GWh. La box TV demeure inutilement en veille quand la télé est éteinte et la box Internet reste souvent en tension la nuit. Pourtant, sans effort particulier, 3100 GWh pourraient être économisés. De même, le réglage des appareils électroménagers, comme le thermostat des réfrigérateurs, permettrait d'effacer 1800 GWh, selon négaWatt.

Installer des thermostats pilotables

Le thermostat connecté fait partie des solutions de pilotage des équipements du logement à distance. Pour les entre-

ADAPTATION

La brutale prise de conscience de l'industrie

Pour l'industrie aussi, c'est le branle-bas de combat. Dans ce secteur, la recherche de la sobriété a longtemps été reléguée au second rang des priorités du fait d'un coût faible de l'énergie, qu'elle soit électrique ou gazière. Le retour à la réalité est brutal. Le gouvernement a présenté en octobre dernier un plan de sobriété énergétique en présence de l'ensemble des organisations professionnelles. Une plateforme baptisée « je décarbone »* a été mise en place. En quelques semaines, elle a enregistré 1600 demandes. « *Elle met en relation des bureaux d'études et entreprises de services, qui établissent des diagnostics et proposent des plans d'actions, ainsi que des vendeurs d'appareils et d'outils numériques gérant les consommations, avec des industriels demandeurs de solutions* », résume Sophie Laurent, cheffe de mission décarbonation et efficacité énergétique au Comité stratégique de filière Nouveaux systèmes énergétiques. Sont concernés autant la multinationale que le boulanger du quartier. Les propositions empruntent deux voies : la substitution des énergies

LOGEMENTS COLLECTIFS

Le casse-tête des copropriétés

Comment être sobre quand on partage une chaudière collective ? Les 10 millions de copropriétés françaises doivent respecter les 19 °C alors que les appartements ne sont pas tous logés à la même enseigne. La première mesure voulue par le gouvernement, c'est la généralisation des compteurs individuels. En attendant, peu d'immeubles ont des contrats d'entretien qui comprennent le nettoyage des canalisations, la surveillance et le réglage de la chaudière, l'isolation des tuyauteries dans les parties communes et la mesure de la température dans les appartements. Les contrats de performance énergétique (CPE), où l'entreprise gestionnaire du chauffage s'engage à une réduction drastique des consommations, quitte à indemniser les propriétaires si les objectifs ne sont pas atteints, constituent une solution qui ne couvre que quelques milliers d'immeubles.

LUDOVIC MARIN/AFP

L'usine Renault de Maubeuge (Nord) va remplacer 65 % de ses besoins en gaz grâce à l'installation d'une chaudière biomasse.

fossiles par des énergies renouvelables et le remplacement des machines énergivores par les meilleures technologies disponibles.

Ainsi, Renault a signé avec Dalkia un accord sur quinze ans pour fournir de la chaleur à partir d'une chaudière à biomasse pour son usine de Maubeuge (Nord). La société productrice de fromage Agour au Pays basque, à son échelle, a décidé de modifier son processus de fabrication, ce qui lui a permis de réduire de 33 % sa consommation d'électricité et de 22 % sa consommation de gaz. Ces actions donnent droit à des subventions tant nationales que régionales. Ainsi, la Nouvelle-Aquitaine agglomère les initiatives de son territoire sous le seul vocable de la transition énergétique pour donner un objectif à l'ensemble de son territoire. *« Car il ne s'agit pas seulement de passer cette période difficile, mais bien d'arriver à la décarbonation totale de l'industrie en 2050 »*, rappelle Sophie Laurent.

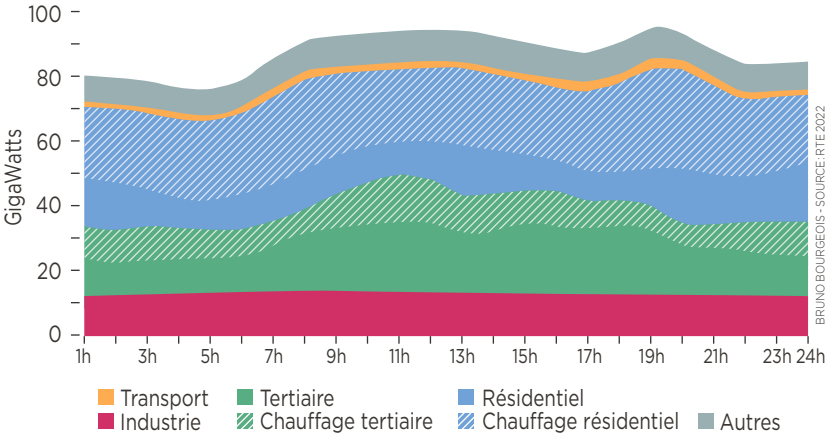
* https://je-decarbone.fr

prises réunies au sein d'Ignes, alliance des industriels proposant des solutions électriques et numériques, la domotique n'a cessé d'évoluer avec, aujourd'hui, des appareils pilotables sur smartphone grâce à une application ou par assistant vocal. La température du logement est ainsi connue à tout moment. De nos jours, seulement un million de logements sur 37 millions existants sont pourvus de thermostats connectés. Les industriels ambitionnent d'équiper l'ensemble du parc immobilier d'un système de pilotage intelligent d'ici à la fin de la décennie. Les programmeurs de chaudière intelligents sont obligatoires depuis 2018. Au-delà du chauffage, il est désormais possible de piloter à distance les autres appareils les plus énergivores (eau chaude sanitaire, climatisation, borne de recharge du véhicule électrique, appareils en veille, éclairage…).

Le salut résiderait-il dans la seule technologie ? Nombreux sont ceux qui en doutent. D'abord parce que cet univers numérique nécessite autant de dextérité que de motivation de la part de l'usager. La crainte de ne plus pouvoir décider de son confort et de devoir dépendre d'appareils sophistiqués est réelle, d'autant qu'il est paradoxal que la voie de la sobriété nécessite de nouveaux appareils électriques et numériques. Le pilotage à distance implique notamment que la box reste allumée en l'absence de tout occupant dans le logement. ■

La consommation heure par heure d'électricité en France

(par secteur et pour un jour ouvré de février)

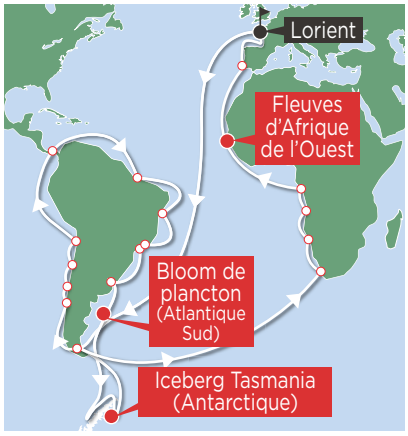


Des sources importantes d'économies sont attendues en baissant le chauffage des logements dans la journée, poste de consommation qui reste trop important.

La mission Tara révèle de nouveaux secrets océaniques

De retour à Lorient en octobre dernier après près de deux ans d'expédition, la goélette d'exploration scientifique a engrangé des informations sur la distribution des micro-organismes marins, le développement du phytoplancton dans les eaux froides de l'Antarctique et l'impact des pollutions sur les océans.

Ce ne sont pas moins de 70 000 kilomètres que vient de parcourir la goélette *Tara* de décembre 2020 à septembre 2022, pour une mission qui l'a menée des côtes sud-américaines aux eaux de l'Antarctique, avant de remonter le long des côtes atlantiques de l'Afrique. Cette expédition avait notamment pour objectifs de mieux comprendre comment le changement climatique perturbe les courants océaniques et la distribution des micro-organismes marins, de quelle façon les continents fertilisent l'océan et quel est l'impact des pollutions sur la vie marine. En décembre 2021, le voilier de 36 mètres croisait ainsi dans les eaux de l'Argentine, entre Buenos Aires et Ushuaïa. À son bord, Flora Vincent, biologiste à l'institut israélien Weizmann, traquait l'émergence du « bloom » (prolifération) planctonique qui se produit dans ces eaux à chaque printemps austral. Lors de ces efflorescences massives, diatomées, coccolithophores et autres organismes planctoniques se multiplient à grande vitesse sur de larges zones océaniques. « *C'est le printemps de l'océan après le désert hivernal,* explique la chercheuse. *Il a lieu lorsque les conditions d'ensoleillement, de disponibilité des nutriments et de stratification de la masse d'eau sont réunies. Ce phénomène est lié au courant circumpolaire, qui injecte des nutriments vers le nord.* » Il est crucial de comprendre le développement de cette vie planctonique, qui capte le CO_2 de l'atmosphère, produit de l'oxygène en retour et finit par stocker dans les fonds marins le carbone absorbé.



BRUNO BOURGEOIS

L'expédition scientifique s'est déroulée en trois étapes : Amérique du Sud, Antarctique et Afrique de l'Ouest.

Identifier les ennemis du printemps des océans

Mais chaque bloom est imprévisible. Celui guetté par Flora Vincent pouvait surgir n'importe où dans une région de 3000 km de long et de 500 km de large. À l'aide d'images satellitaires datant de deux à trois jours, la biologiste devait prévoir chaque jour la destination du bateau en vue de localiser un phénomène soumis à l'influence des courants et se déplaçant d'un demi-mètre

MAÉVA BARDY - FONDATION TARA OCEAN

Le biologiste marin Douglas Couet en pleine campagne de mesures et de prélèvements aux abords de l'iceberg Tasmania, en Antarctique, en vue de déterminer l'influence de ce dernier sur la chimie des eaux avoisinantes.

par seconde ! L'analyse des propriétés optiques de l'eau a permis d'identifier le bloom de coccolithophores en cours, chaque espèce de phytoplancton ayant sa propre signature lumineuse. Les informations fournies par les capteurs du navire et les bouées ont ensuite permis pendant dix jours le suivi du phénomène. *« Le bloom évolue en trois dimensions, comme un organisme vivant,* explique Flora Vincent. *Il regroupe de nombreuses espèces qui interagissent.* » Des échanges qui parfois se révèlent hostiles : les coccolithophores peuvent en effet être mangés, ou attaqués par des virus et des bactéries. Selon le destin des organismes planctoniques, le bloom aura un bilan positif ou négatif en matière d'absorption du CO_2 et d'émission d'oxygène. Les autres ennemis du printemps des océans sont les engrais et polluants, qui peuvent favoriser la multiplication d'algues émettrices de gaz toxiques.

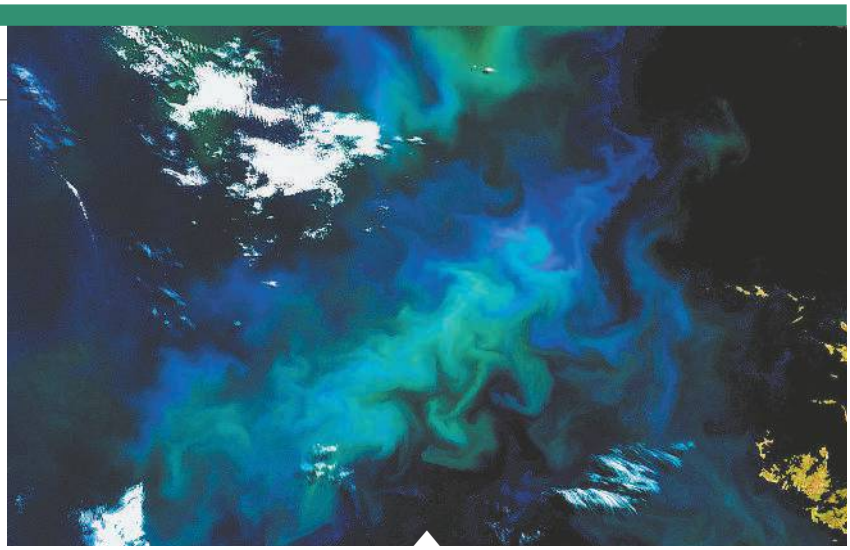
Poursuivant sa route, *Tara* a rejoint en janvier 2022 la mer de Weddell, en Antarctique, aujourd'hui quasiment libre de glaces. C'est pourtant dans ces mêmes eaux que l'explorateur britannique Ernest Shackleton s'est trouvé, en 1915, emprisonné deux ans durant avec son bateau l'*Endurance (lire* S. et A. *n° 903)*. Après avoir connu les jours précédents des vents de 75 nœuds et des creux de 10 mètres, le bateau a réussi à se positionner au plus près de l'immense iceberg tabulaire Tasmania, de 35 km de long et d'une hauteur de 22 m au-dessus de l'eau, avec une quille plongeant à 500 mètres sous la mer. Soit un véritable défi de navigation. Après trois jours d'approche dans une mer miraculeusement encalminée, des mesures et prélèvements réguliers ont été effectués depuis quelques dizaines de mètres de l'iceberg jusqu'à 2 kilomètres de distance.

L'objectif de Chris Bowler, directeur de laboratoire à l'institut de biologie de l'École normale supérieure (Paris), était de mesurer l'influence de cet iceberg sur la chimie des eaux avoisinantes, notamment son apport en minéraux et autres nutriments. Les eaux de l'océan Austral sont en effet pauvres en fer, un élément

FLORA VINCENT

« Le bloom évolue en trois dimensions. Il regroupe de nombreuses espèces qui interagissent »

Flora Vincent, biologiste à l'institut Weizmann (Israël)



COPERNICUS SENTINEL DATA (2022), ESA

Efflorescence de phytoplancton — bloom — capturé en décembre 2021 au large de l'Argentine par les satellites de la constellation européenne Copernicus.

pourtant indispensable au développement du phytoplancton, premier maillon de la chaîne alimentaire. Chris Bowler s'intéressait plus particulièrement aux diatomées, des microalgues capables de se construire une carapace de verre à température ambiante, une compétence inatteignable à ce jour par notre artisanat ! Ces organismes composent le groupe de phytoplancton le plus diversifié, avec un nombre d'espèces estimé à près de 100 000. Quel rôle joue-t-il dans la biosphère ? On sait déjà que ces organismes photosynthétiques contribuent à 25 % de la production de matière organique végétale en Antarctique et constituent ainsi une source de nourriture importante pour le krill, particulièrement en fin d'hiver quand la nourriture se raréfie. Ce groupe planctonique, friand des eaux froides, est désormais soumis à la concurrence des coccolithophores qui gagnent du terrain en Antarctique à la faveur du changement climatique. Quel impact aura demain cette transformation sur le biotope océanique ?

Quittant les eaux glacées de l'Antarctique, la goélette a mis le cap sur les côtes africaines pour explorer le cours des fleuves Gambie et Casamance et le panache des fleuves Orange et Congo. C'est sur cette dernière partie du voyage qu'a embarqué Jean-François Ghiglione, directeur de recherche au Laboratoire d'océanologie de Banyuls-sur-Mer (Pyrénées-Orientales), en vue d'étudier l'impact de ces fleuves sur l'océan Atlantique et ses communautés microbiennes. Cette mission est venue compléter celle menée en 2019 dans les fleuves européens pour quantifier et cartographier la pollution plastique rejoignant les océans depuis les bassins-versants. « *Nous avons montré à cette occasion que la pollution plastique se retrouve dans tous les échantillons prélevés,* indique Jean-François Ghiglione. *En Afrique, la pollution plastique est différente : on y trouve moins de débris d'emballages, mais beaucoup plus de filets de pêche et de vêtements.* » La majeure partie de la pollution plastique mondiale arrive dans les océans sous la forme de micro-éléments. Tous les échantillons prélevés en Europe en comprenaient. « *Les fleuves les plus pollués sont la Tamise en Angleterre et le Tibre en Italie,* souligne Jean-François Ghiglione. *Pour ce dernier, il faut accuser la mafia, qui est en charge de la gestion des déchets mais ne fait pas le travail. En ce qui concerne la Tamise, il existe sans doute en amont des producteurs de plastiques cosmétiques, mais depuis le Brexit, il est difficile d'investiguer plus avant.* » Les paysages costaux de l'Afrique atlantique présentent des caractéristiques bien différentes : les microplastiques sont effectivement moins présents, laissant place à une dense concentration de macroplastiques en lisière des villages fluviaux.

Confronter les données de terrain avec les modèles

Les échantillons prélevés par la goélette vont maintenant permettre de confronter les données de terrain avec les modèles d'écoulement des déchets en fonction du nombre d'habitants et de la morphologie des bassins-versants. Les premiers résultats « *montrent que l'on a surestimé la quantité de plastiques issus des fleuves,* note Jean-François Ghiglione. *Ce qui signifie que le plastique qui stagne dans les gyres océaniques est plus ancien qu'on ne le pensait. Ce marqueur de l'anthropocène pourrait ainsi perdurer plusieurs dizaines à plusieurs milliers d'années dans l'environnement !* » ■

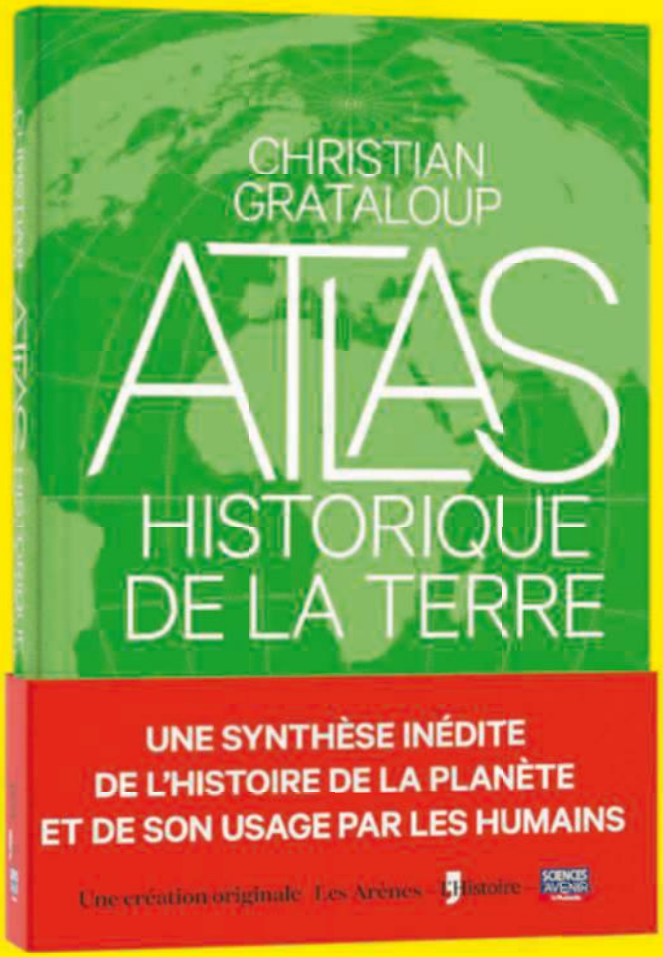
Sylvie Rouat
@srouat1

RETOUR SUR…

L'aventure mouvementée de « Tara »

La goélette — initialement baptisée *Antarctica* — a été construite en 1989 pour répondre au projet de l'explorateur Jean-Louis Étienne de se lancer sur les traces du Norvégien Fridtjof Nansen, premier à accomplir la dérive arctique. Faute de moyens, Jean-Louis Étienne cède sept ans plus tard son voilier au navigateur néo-zélandais Peter Blake, illustre vainqueur de la coupe de l'America. Rebaptisé *Seamaster*, le bateau est consacré aux études environnementales. Hélas, Peter Blake est assassiné en 2001 sur le fleuve Amazone par des pirates. L'embarcation en déshérence est finalement rachetée par la styliste Agnès b. et son fils Étienne Bourgois, qui en font une base scientifique et concrétisent en 2007 la dérive arctique, mettant en évidence à cette occasion le réchauffement des eaux polaires. Depuis lors, *Tara* a permis de grandes avancées, notamment sur la connaissance du plancton.

La Terre a 4,5 milliards d'années, voici son histoire !


CHRISTIAN GRATALOUP
ATLAS
HISTORIQUE DE LA TERRE
UNE SYNTHÈSE INÉDITE DE L'HISTOIRE DE LA PLANÈTE ET DE SON USAGE PAR LES HUMAINS
Une création originale Les Arènes L'Histoire Sciences Avenir

« Un extraordinaire concentré de savoirs. »
Le Monde

« Un pari encyclopédique très réussi. »
Le Figaro Magazine

« Un excellent travail de synthèse et de pédagogie. »
Les Échos

« Ébouriffant ! »
Ouest-France

L'Histoire · Les Arènes · Sciences Avenir La Recherche

340 pages - 29,90 €

Infographies
Tableaux, graphiques et infographies pour rendre plus accessibles certaines réalités historiques.

Cartes en grand format

Texte d'accompagnement
Une contextualisation historique ou scientifique indispensable.

Cartes numérisées
Possibilité de télécharger les cartes au format PDF. Un outil pédagogique indispensable, du collège à l'université.

Illustrations et schémas

La catastrophe écologique couvait déjà il y a 50 ans

La prise de conscience environnementale est loin d'être récente. En 1972, le rapport Meadows, issu des travaux de scientifiques du MIT, alertait sur le risque de dépasser les limites planétaires, avec de graves conséquences pour l'humanité. Depuis, six sur neuf ont été franchies. Décryptage.

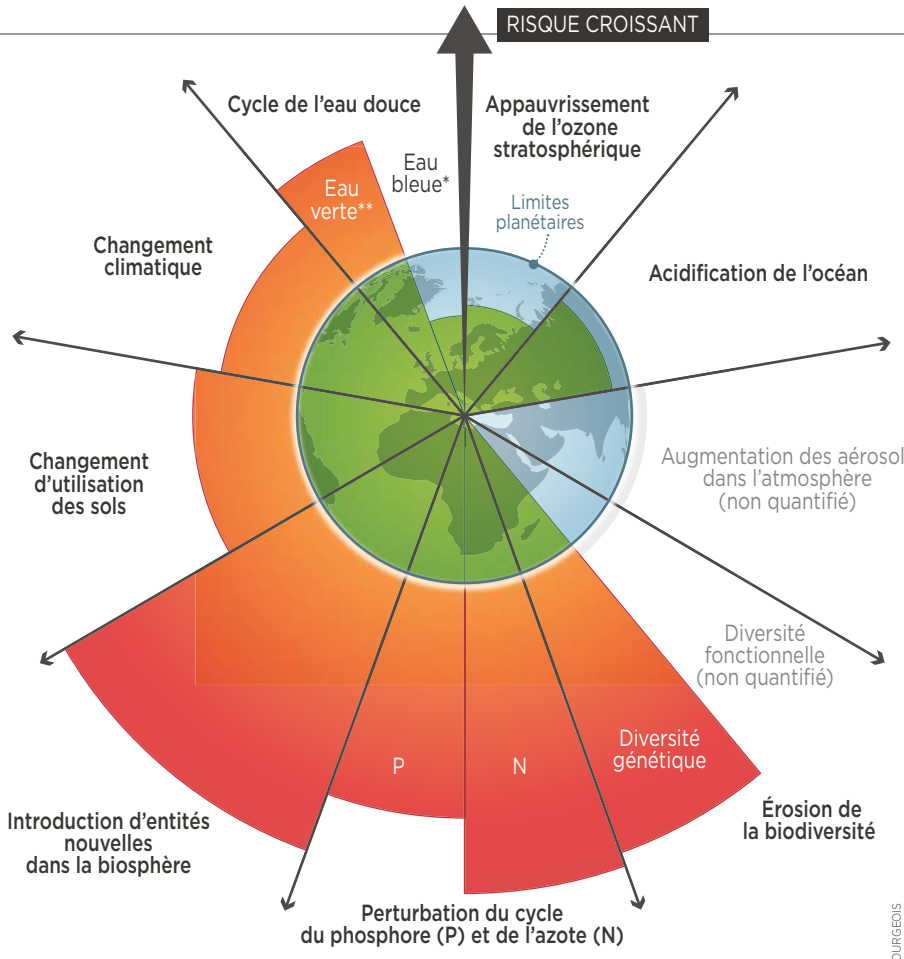
En 2022, deux limites planétaires ont été dépassées. Au total, six de ces seuils fatidiques qui déterminent l'habitabilité de la Terre sont désormais dans le rouge. Une surprise ? Pas vraiment. Car il y a cinquante ans, un rapport scientifique démontrait déjà que poursuivre une croissance illimitée dans un monde aux ressources finies provoquerait une déstabilisation des équilibres planétaires, faisant courir de graves risques à l'humanité. Publié en 1972, traduit en 36 langues et vendu à plus de dix millions d'exemplaires, l'ouvrage intitulé *Les Limites à la croissance* provoqua une onde de choc au sein de la communauté internationale. Il fut rédigé par quatre chercheurs du Massachusetts Institute of Technology (MIT, États-Unis) — Dennis et Donella Meadows, Jorgen Randers et William Behrens — spécialistes de la dynamique des systèmes, une technique de modélisation mathématique qui permet d'analyser des problèmes complexes. Le rapport présente les travaux de recherche réalisés sous la direction de Dennis Meadows par 17 scientifiques de six pays (États-Unis, Norvège, Allemagne, Inde, Iran et Turquie). Il fut commandé par le Club de Rome, un groupe de réflexion rassemblant des hommes d'affaires, des scientifiques et des économistes, dans un contexte où naissent les premières ONG environnementales comme Greenpeace et le WWF, et où l'opinion publique s'inquiète des dégradations écologiques en cours.

CHRONOLOGIE

- **1972 :** Parution du rapport Meadows.
- **1990 :** Premier rapport du Giec.
- **2009 :** Définition des neuf limites planétaires.
- **2015 :** Accord de Paris.
- **2022 :** Sixième limite planétaire franchie.

Pendant deux ans, l'équipe Meadows met au point un modèle mathématique permettant de prévoir l'évolution de plusieurs grandes variables : la démographie, l'activité industrielle, la production agricole, la pollution, les ressources naturelles… La conclusion est sans appel : même en misant sur des progrès technologiques ambitieux, la poursuite de la croissance aboutit inévitablement à un effondrement du système d'ici à la fin du XXIe siècle. Autrement dit, une diminution brutale des ressources disponibles, s'accompagnant d'une dégradation des conditions de vie et d'une chute de la population mondiale *(voir schéma p. 62)*. Selon les scénarios, cet effondrement est causé soit par une pénurie de ressources non renouvelables comme le pétrole, dont le coût d'extraction devient trop important ; soit par l'érosion des terres agricoles et un niveau de pollution si élevé qu'il affecte gravement la production alimentaire. Parmi la dizaine de scénarios étudiés, un seul permettait d'éviter le crash : celui d'une stabilisation de la démographie et d'un arrêt de la croissance économique.

« La plupart des économistes ont jeté ce rapport à la poubelle, raconte l'économiste Gaël Giraud. *En effet, l'écrasante majorité d'entre eux ne prend pas en compte, ou très peu, la question des res-*



* : part de l'eau issue des précipitations atmosphériques qui s'écoule dans les cours d'eau jusqu'à la mer, ou qui est recueillie dans les lacs, les aquifères ou les réservoirs.
** : part de l'eau issue des précipitations atmosphériques qui est absorbée par les végétaux.

BRUNO BOURGEOIS

RISQUES

Six limites planétaires dans le rouge

Les scientifiques ont identifié neuf limites planétaires qui correspondent aux processus naturels conditionnant la vie sur Terre. Pour chacune d'entre elles, est déterminé un seuil au-delà duquel existe un risque de modification et d'emballement. Deux de ces seuils biophysiques ont été dépassés en 2022 : le cycle de l'eau douce, avec un déficit de l'eau verte contenue dans les sols et la biosphère, principalement dû au changement climatique et à la déforestation ; et l'introduction d'entités nouvelles (pollution chimique) qui reflète en particulier une surabondance des déchets plastiques dans l'ensemble des milieux terrestres. La prochaine sur la liste pourrait être l'acidification des océans, une modification chimique due au surplus de CO_2 dans l'air qui affecte notamment le plancton, base de toute la chaîne alimentaire marine.

sources naturelles. Or, le rapport Meadows nous rappelle que le monde réel existe et que si nous ne nous en occupons pas, le retour de bâton sera sévère. » Après de nouvelles éditions publiées en 1992 et en 2004, des études ont confirmé que jusqu'ici, les prévisions du rapport se sont révélées justes *(lire l'encadré p. 62)*. *« Il est compliqué d'imaginer qu'on puisse pérenniser la croissance économique pendant des décennies et résoudre en même temps les problèmes environnementaux. Car 2 % de croissance par an pendant un siècle revient par exemple à multiplier par six ou sept notre production et notre consommation »*, explique Aurélien Boutaud, chercheur CNRS associé au laboratoire Environnement, ville, société, à Lyon, et coauteur du livre *Les Limites planétaires* (éd. La Découverte).

À la suite des travaux de l'équipe Meadows, les scientifiques ont tenté de mieux évaluer l'impact de l'humanité sur la planète. Élaborée dans les années 1990, l'empreinte écologique mesure la quantité de surface terrestre nécessaire pour produire les biens et services que nous consommons et absorber les déchets que nous produisons. Elle permet de calculer le jour du dépassement, à partir duquel nous avons pêché plus de poissons, abattu plus d'arbres, cultivé plus de terre que ce que la nature peut nous procurer en une année — et émis plus de gaz à effet de serre que nos océans et nos forêts ne peuvent en absorber. En 2022, le jour du dépassement a eu lieu le 28 juillet. *« Nous sommes face à un fort déficit écologique qui ne peut pas durer »*, s'alarme Aurélien Boutaud. Pour compléter le tableau, une équipe de recherche du Stockholm Resilience Centre, en Suède, a défini neuf limites planétaires. Parmi elles, le changement climatique, l'érosion de la biodiversité, mais aussi d'autres moins connues comme les cycles de l'azote et du phos-

PABLO PORLAN / HANS LUCAS / AFP

« L'écrasante majorité des économistes ne prennent pas en compte, ou très peu, la question des ressources naturelles »

Gaël Giraud, économiste, directeur de recherche au CNRS

phore, ou l'acidification des océans (*lire l'encadré p. 61)*. Empreinte écologique et limites planétaires offrent une vision globale de notre impact sur la planète. Une nécessité lorsqu'on sait que les différents paramètres sont étroitement liés. Si bien qu'une solution ne prenant pas en compte l'ensemble de ces facteurs pourrait, au contraire, aggraver la situation. L'utilisation massive d'agrocarburants pour réduire les émissions de CO_2 de nos voitures et de nos avions aurait par exemple un impact majeur sur la déforestation. *« Il ne s'agit pas d'avoir sans arrêt recours à des solutions de substitution. Il faut juste consommer moins d'emballages, d'énergie, de produits alimentaires transformés, etc. »*, explique Sandra Lavorel, écologue, membre de l'Académie des sciences, et coauteure du rapport de l'IPBES (plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques).

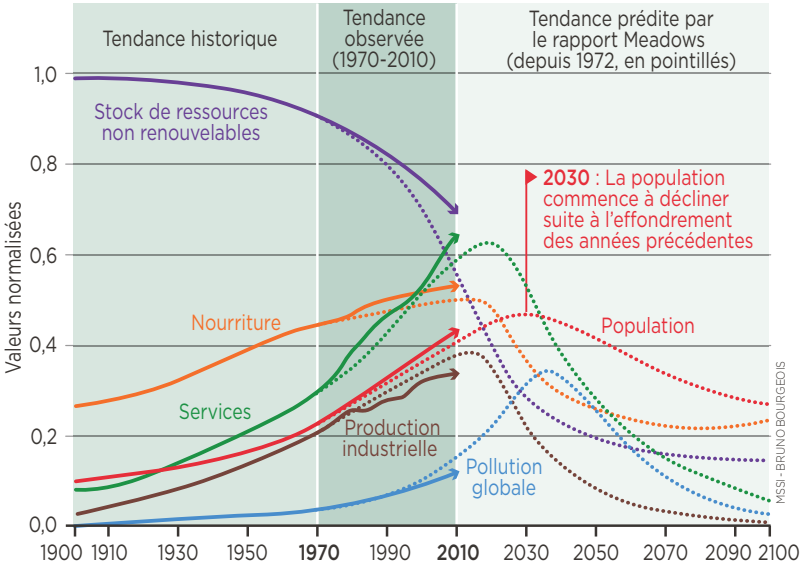
Énergies fossiles et agriculture intensive pointées du doigt

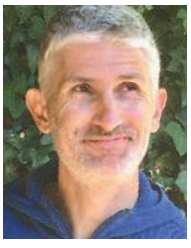
Le pas à franchir est considérable : diviser par deux notre empreinte écologique au niveau mondial, et par trois en France. *« Dire qu'on arrivera à résoudre le problème par des réponses purement technologiques paraît problématique »*, explique Aurélien Boutaud. Le chercheur souligne l'importance de l'effet rebond : lorsqu'une nouvelle technologie permet de réduire notre impact, cette réduction est compensée par l'augmentation de la consommation. *« Il faut avant tout convoquer la sobriété. La meilleure énergie, c'est celle qu'on n'utilise pas, la meilleure ressource est celle qu'on n'a pas eu besoin d'extraire »*, confirme Philippe Bihouix, ingénieur et auteur de *L'Âge des low tech* (éd. du Seuil). Deux secteurs en particulier pèsent très lourd dans notre empreinte écologique : les énergies fossiles, fortement émettrices de CO_2, mais aussi l'agriculture. *« Notre agriculture intensive produit beaucoup, mais détruit aussi beaucoup »*, souligne l'agronome Marc Dufumier, évoquant le labour qui dégrade l'humus des sols, l'impact des pesticides et des engrais sur la biodiversité et la pollution des eaux. Sans compter qu'à eux seuls, l'agriculture et l'élevage pèsent 30 % des émissions de gaz à effet de serre. Selon une étude de la FAO (Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture), réduire notre consommation de viande et passer à l'agroécologie permettrait de diminuer fortement notre empreinte écologique tout en nourrissant 10 milliards de personnes en 2050. *« Vous pouvez réduire de moitié votre impact individuel, mais le reste ne peut être baissé que de manière collective »*, insiste Aurélien Boutaud. Un changement des modes de consommation est donc nécessaire, mais pas suffisant. *« Nous n'avons aucune chance de résoudre le problème en gardant le modèle économique et sociétal actuel,* confirme Sandra Lavorel. *La question n'est pas de savoir s'il faut changer de modèle, mais de déterminer ensemble comment y parvenir. Plus nous attendons, plus les changements seront difficiles. »* ■ **Audrey Boehly**

PRÉVISIONS

Un scénario d'effondrement qui se confirme

Jusqu'ici, les prévisions du rapport Meadows se sont révélées justes. Elles ont été confirmées par plusieurs chercheurs, dont l'Australien Graham Turner en 2012 (tendance observée ci-dessous). L'évolution des différentes variables (nourriture, pollution, production industrielle…) correspond au scénario menant à un effondrement du système.




AURÉLIEN BOUTAUD

« Vous pouvez réduire de moitié votre impact écologique individuel, mais le reste ne peut être baissé que de manière collective »

Aurélien Boutaud, chercheur CNRS associé au laboratoire Environnement, ville, société, à Lyon

Kinedo

La **sécurité** sans compromis
mais pas à n'importe quel prix !

Remplacez votre baignoire
par une **douche sécurisée** à un **budget maîtrisé.**

NOUVEAUTÉ

Modèle présenté : Kinemagic Access en angle - version mécanique - porte coulissante option : siège (+ 337 € TTC)

FABRIQUÉ EN FRANCE

Douche
Kinemagic

100% sécurisé

Pose en 24h sans gros travaux

Devis gratuit

Le vrai luxe à partir de **3 107 € TTC*** hors pose

*TVA à 10 %, applicable dans le cadre d'une installation par un professionnel

VU À LA TV

Kinedo
C'est bon pour le dos

PLUS D'INFORMATIONS

par téléphone
0 800 05 06 07 Service & appel gratuits

par internet
www.kinedo.com

par courrier
en retournant
le coupon ci-joint
Coupon à envoyer à :
AQUAPRODUCTION
LIBRE RÉPONSE 51045
44680 SAINTE PAZANNE

❑ Oui, je souhaite en savoir plus sur la douche Kinemagic et bénéficier d'un DEVIS GRATUIT sans engagement de ma part.

Nom : ..... Prénom : .....
Adresse : .....
.....
CP : ..... Ville : .....
Téléphone : .....
Email : .....

N'affranchissez pas ce courrier, nous vous offrons les frais postaux.

Kinemagic - Sciences & Avenir

CROISIÈRE GALAPAGOS

par Voyages d'exception

UNE CROISIÈRE POUR VIVRE DES MOMENTS D'EXCEPTION

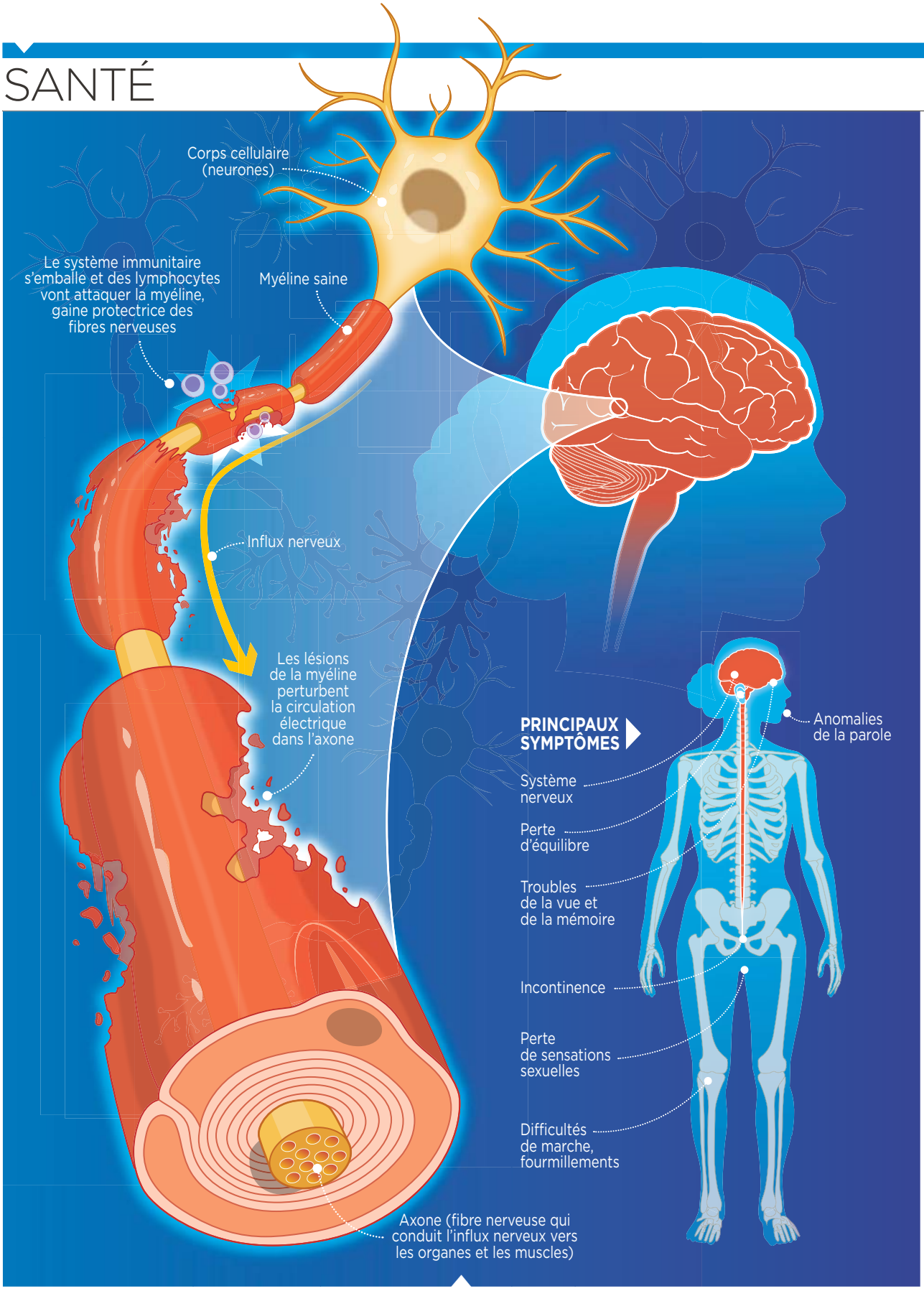
DEPARTS EN MARS, JUIN ET NOVEMBRE 2023

Voyages d'exception, est heureux de vous proposer une fabuleuse croisière dans l'archipel des Galápagos. Appelées la « vitrine de l'évolution », ces îles volcaniques ont conservé les formes de vie les plus surprenantes : tortues centenaires, iguanes géants, otaries... Tout au long de ce voyage, vous bénéficierez des conférences de vos guides naturalistes.

DEMANDEZ NOTRE BROCHURE DÉTAILLÉE

au 01 75 77 87 48, par e-mail à contact@voyages-exception.fr,
sur www.voyages-exception.fr/brochures, (code GALAS à renseigner).

© L'Agence de Presse - Photos : © Shutterstock.


Corps cellulaire (neurones)
Le système immunitaire s'emballe et des lymphocytes vont attaquer la myéline, gaine protectrice des fibres nerveuses
Myéline saine
Influx nerveux
Les lésions de la myéline perturbent la circulation électrique dans l'axone
PRINCIPAUX SYMPTÔMES
Anomalies de la parole
Système nerveux
Perte d'équilibre
Troubles de la vue et de la mémoire
Incontinence
Perte de sensations sexuelles
Difficultés de marche, fourmillements
Axone (fibre nerveuse qui conduit l'influx nerveux vers les organes et les muscles)

BRUNO BOURGEOIS POUR SCIENCESET AVENIR LA RECHERCHE

Maladie auto-immune, la sclérose en plaques (SEP) affecte le système nerveux central (cerveau et moelle épinière). Des lésions apparaissent au niveau de la myéline entraînant une inflammation, cause de différents troubles moteurs, cognitifs...

Sclérose en plaques

L'autogreffe reconstitue le système immunitaire

La progression de cette maladie du système nerveux central peut être freinée grâce une transplantation de cellules souches sanguines, avec environ 80 % d'efficacité. Pourtant, ce traitement reste négligé en France. Ses détracteurs pointent la lourdeur du dispositif et son coût. Explications.

Par Sylvie Riou-Milliot

Capricieuse, terrible, imprévisible, sournoise… autant d'adjectifs associés à la sclérose en plaques (SEP), maladie inflammatoire du système nerveux central, la plus répandue dans les pays industrialisés. Première cause de handicap sévère non traumatique, elle concerne près de 100 000 personnes en France, dont deux tiers de femmes âgées en moyenne de 30 ans. *« Polymorphe par excellence »* comme la cataloguait à la fin du XIXe siècle le neurologue Jean-Martin Charcot, cette affection, que l'on ne parvient toujours pas à guérir *(lire l'encadré p. 69)*, revêt en effet différentes formes. La plus fréquente (85 %), dite rémittente récurrente, évolue par poussées plus ou moins sévères, avec ou sans séquelles. Si environ 50 % des patients se stabilisent, les autres évoluent en cinq à dix ans vers une forme dite secondaire progressive, avec moins de poussées mais une croissance du handicap plus continue. Enfin, dans 15 % des cas, la maladie peut aussi survenir d'emblée sous une forme agressive dite primaire progressive, qui, elle, échappe à tous les traitements disponibles. Aujourd'hui, selon les cas, les malades sont le plus souvent traités pendant de très longues années, avec différentes molécules non dépourvues d'effets secondaires (des infections en lien avec l'immunodépression) qui ont un lourd impact sur les

dépenses de santé, le coût global (médical et socio-économique) de la SEP étant en France de 2,75 milliards d'euros par an, selon l'étude Antares de 2022. Or, il existe une tout autre approche, moins connue et plus radicale, réservée à certaines formes de la maladie.

De quoi s'agit-il ? D'une thérapie cellulaire se déroulant en plusieurs étapes *(voir l'infographie ci-dessous)* : l'autogreffe de cellules souches hématopoïétiques est capable en une seule fois (pour un coût d'environ 50 000 euros) de freiner la progression de la maladie avec environ 80 % d'efficacité, tous protocoles confondus.

« Le système immunitaire des patients est remis à zéro et réinitialisé », résume le Pr Dominique Farge, spécialiste des maladies immunitaires à l'hôpital Saint-Louis, à Paris. Il défend cette approche depuis plus de vingt ans et coordonne avec un ensemble de spécialistes (hématologues, neurologues, immunologistes…) le groupe Mathec (Maladies auto-immunes et thérapie cellulaire), dont le but est de développer des thérapies cellulaires innovantes pour améliorer la prise en charge des patients atteints de maladies auto-immunes comme la SEP, mais aussi d'autres pathologies auto-inflammatoires non malignes (sclérodermie, maladie de Crohn…).

2,8 millions
de malades dans le monde.

100 000
en France.

3000
nouveaux cas par an en France.

3 femmes
pour 1 homme.

30 ans
L'âge moyen du début de la maladie.

Longtemps méconnue des neurologues, cette approche d'autogreffe était récemment au cœur d'une session spéciale lors du rendez-vous annuel des neurologues, au 38e congrès européen de la SEP, l'Ectrims (European Committee for Treatment and Research in Multiple Sclerosis), qui se déroulait à Amsterdam (Pays-Bas) fin octobre 2022. Une mise en lumière qui doit désormais se poursuivre par la parution d'un guide pratique de recommandations européennes, en cours de rédaction par les neurologues européens, afin de combler leur retard sur leurs collègues nord-américains. Dans le même temps, l'autogreffe vient aussi de faire l'objet, en France, d'un tout récent Protocole national de diagnostic et de soin (PNDS), le fruit d'un travail de deux ans, un document validé par la Haute Autorité de santé à destination des médecins généralistes et neurologues libéraux pour en préciser les modalités.

Un protocole sous haute surveillance hospitalière

En pratique, cette approche repose sur la reconstitution du système immunitaire défaillant grâce aux cellules souches sanguines naturellement présentes dans la moelle osseuse des patients. L'astuce consiste, dans un premier temps, à utiliser différents traitements chimiques pour « faire sortir » de la moelle osseuse (et mobiliser) les cellules souches vers le sang afin de les rendre accessibles. Une fois recueillies par cytaphérèse (un dispositif capable de trier les cellules et de réinjecter le sang), les cellules sont congelées puis réinjectées au patient au moment de la greffe. Juste avant, le patient reçoit une chimiothérapie intensive pour détruire son système immunitaire, qui se reformera ultérieurement avec les cellules souches hématopoïétiques greffées. Ce protocole se

Cinq étapes pour une autogreffe

1 Mobilisation des cellules souches hématopoïétiques
À la suite d'une chimiothérapie, un facteur de croissance hématopoïétique (G-CSF) est injecté par voie sous-cutanée pendant sept jours pour permettre aux cellules souches hématopoïétiques (CSH) d'être libérées dans le sang.

2 Collecte des cellules souches
Le patient est perfusé à un séparateur de cellules, une machine qui sépare spécifiquement les différentes cellules du sang par centrifugation. Deux voies veineuses sont nécessaires pour cette technique : l'une permet l'entrée du sang dans le séparateur, l'autre sa restitution.

3 Phase de congélation
Les CSH prélevées sont congelées et conservées jusqu'à la date prévue de l'autogreffe dans un laboratoire de thérapie cellulaire.

4 Mise en aplasie du patient
Six semaines après le recueil des CSH, le patient reçoit une chimiothérapie qui détruit ses cellules immunitaires « malades ». Il est alors en aplasie (sans globules rouges, blancs, plaquettes) pendant environ quinze jours et reste hospitalisé en chambre stérile.

5 Réalisation de l'autogreffe
Les CSH sont décongelées et réinjectées dans le sang par un cathéter. Cela permet la formation de nouvelles cellules sanguines et immunitaires remplaçant les anciennes, détruites à la phase 4.

BRUNO BOURGEOIS

TRAITEMENTS

Après les biothérapies, la piste vaccinale

Si aucun traitement ne peut à ce jour guérir la sclérose en plaques (SEP), la prise en charge de la maladie a énormément progressé ces quinze dernières années, avec l'apparition de nouveaux médicaments : les biothérapies. *« Dits immunomodulateurs et immunosuppresseurs, il s'agit de traitements de fond visant à prévenir l'évolution de la maladie en diminuant la fréquence des poussées et en freinant la progression du handicap,* précise le Pr Jean Pelletier, neurologue et président du comité scientifique de l'Arsep (Fondation pour l'aide à la recherche sur la sclérose en plaques). *Aujourd'hui, la tendance est de les prescrire de plus en plus tôt, en s'adaptant rapidement si besoin à l'évolution de la maladie.* » De plus, la prise en charge requiert souvent le recours à la kinésithérapie et à la rééducation, pour retarder et réduire au mieux la progression du handicap. Pour bien comprendre, il faut se rappeler que la SEP est certes une maladie auto-immune, les propres cellules du malade — les lymphocytes B et T — étant impliquées dans les mécanismes de destruction progressive de la fameuse gaine de myéline. Mais coexistent aussi deux autres mécanismes qui agissent, eux, sur la composante inflammatoire et neurodégénérative de la maladie, les neurones finissant par mourir quand les gaines sont trop abîmées. Or, les traitements aujourd'hui disponibles ciblent surtout l'inflammation. C'est la raison pour laquelle de nombreuses autres approches sont à l'étude, comme le fait de chercher à favoriser la remyélinisation, par exemple avec une stimulation électrique *(lire ci-dessous)* ou d'autres stratégies pharmacologiques. Face aux formes progressives, les plus complexes à prendre en charge, des essais cliniques testant une nouvelle classe de molécules, les inhibiteurs de tyrosine kinase de Bruton (BTKi), ont eux aussi démarré.

GARO/PHANIE

La kinésithérapie et la rééducation, si elles ne soignent pas, permettent d'améliorer la qualité de vie du patient.

Mais la SEP est encore loin d'avoir révélé tous ses secrets. En janvier 2021, une étude américaine parue dans la revue *Science* a démontré pour la première fois qu'un virus transmis par la salive, celui dit d'Epstein-Barr, très proche de la famille des herpèsvirus, responsable de la mononucléose et depuis longtemps suspecté de participer à l'apparition de la SEP, pourrait bien constituer le fameux déclencheur de la maladie. Depuis cette annonce, plusieurs groupes de chercheurs à travers le monde (laboratoire Sanofi, National Institutes of Health, Fred Hutchinson Cancer Institute…) se sont lancés dans l'élaboration d'un potentiel vaccin. En juin dernier, les travaux menés sur des rongeurs et des furets par le laboratoire Sanofi et le National Cancer Institute (Maryland, États-Unis) ont été publiés dans la revue *Science Translational Medicine*. Leurs premiers résultats ont été qualifiés de prometteurs et les essais cliniques chez l'humain devraient démarrer en 2023. ■

DISPOSITIF

De l'électricité pour plus de myéline

Relancer la production de myéline par la stimulation électrique. C'est ce que permet un dispositif placé au niveau des yeux : une paire de lunettes contenant des électrodes en mousse envoyant de manière indolore des signaux électriques vers le nerf optique. Il est au cœur de l'essai ONSTIM coordonné par le Dr Céline Louapre, de l'Institut du cerveau, à Paris. Deux groupes de patients (40 au total), tous souffrant d'une névrite optique, une atteinte fréquente dans la SEP, ont été tirés au sort et recevront ou pas une stimulation électrique, un groupe placebo ayant été constitué avec une fausse stimulation. L'objectif est de comparer les groupes pour savoir si la stimulation aide à la remyélinisation. Réponse en 2024.

déroule toujours en milieu hospitalier, sous surveillance attentive tant hématologique que neurologique, chez des patients de moins de 60 ans, qui à un moment sont en aplasie, sans cellules immunitaires, ce qui les rend très fragiles et sensibles aux infections. *« Il ne s'agit aucunement d'un traitement universel destiné à tous, mais d'une alternative réservée aux personnes en échec avec les traitements usuels et aux formes dites actives, présentant à la fois une expression clinique (une poussée) et des signes radiologiques à l'IRM »*, insiste Dominique Farge.

Les résultats se sont considérablement améliorés

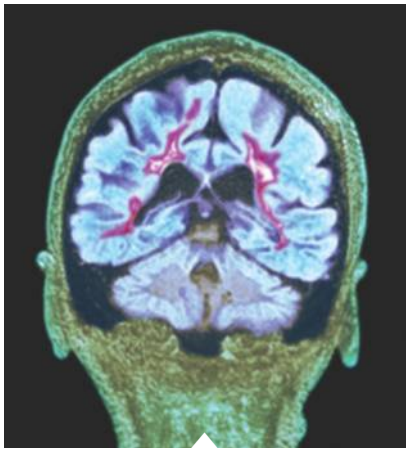
Cette approche est suivie par d'autres équipes à travers le monde, notamment en Italie, au Canada ou aux États-Unis. C'est le cas de celle de Richard Burt, de l'université Northwestern, à Chicago (États-Unis), qui a publié en 2019 dans la revue *Jama* une étude importante sur une centaine de patients. Elle démontre qu'à un an, l'autogreffe de cellules souches est supérieure aux traitements classiques. Des résultats d'ailleurs confirmés par cette même équipe en mai 2022, avec une autre étude, menée cette fois sur 500 patients et publiée dans *Journal of Neurology*. Or, curieusement, si entre 1995 et 2020, près de 300 patients en Italie (autant en Grande Bretagne et aussi en Suède) ont bénéficié de cette approche de thérapie cellulaire, ils ne sont qu'une trentaine en France, soit dix fois moins, selon les données de la Société européenne de greffe de moelle (European Society for Blood and Marrow Transplantation). Pourquoi de telles différences de pratiques alors que l'incidence (8 pour 100 000 habitants) et la prévalence (100 pour 100 000) de la maladie sont quasi identiques dans les trois pays ? Parce que dans l'Hexagone, l'autogreffe demeure peu connue et nettement moins médiatisée que les biothérapies, avancent ses partisans, quand ses détracteurs pointent, eux, la lourdeur du traitement, raison principale de leur réticence à la proposer aux patients.

LOUIS TERRIOU

« Des réunions pluridisciplinaires permettent de bien sélectionner les dossiers des patients, un critère essentiel d'efficacité de la greffe »

Louis Terriou, neurologue au CHU de Lille, un des centres pionniers en France dans la pratique des autogreffes contre la SEP

*« Lors des toutes premières greffes, le taux de mortalité de l'autogreffe se situait autour de 5 %, précisait à l'Ectrims l*e Pr Paolo Muraro, neurologue à l'Imperial College de Londres (Royaume-Uni). *Or, depuis, les protocoles se sont considérablement améliorés et ce taux a radicalement chuté, se situant aujourd'hui entre 0,2 et 1 %.* » Une donnée rassurante qui n'a toujours pas été bien entendue et diffusée auprès de la communauté neurologique. Néanmoins, face à cette curieuse maladie tout à la fois inflammatoire, auto-immune et neurodégénérative, dont les circonstances de déclenchement demeurent mystérieuses, il manque encore certaines données. Comme l'évoquaient les experts européens réunis à Amsterdam, une harmonisation des pratiques de greffes entre les équipes serait la bienvenue, tout comme la mise au point de biomarqueurs de tolérance, afin d'améliorer le suivi des patients après la greffe. En attendant, grâce au travail du groupe Mathec, *« des réunions bimensuelles dites de RCP (réunion de concertation pluridisciplinaire) permettent de bien sélectionner les dossiers des patients candidats, un critère essentiel d'efficacité de la greffe »*, précise le Dr Louis Terriou, neurologue au CHU de Lille, l'un des centres pionniers (avec Paris, Rennes, Poitiers et Montpellier) dans la pratique des autogreffes contre la SEP. *« Mais les dossiers nous sont encore parfois adressés de manière trop tardive »*, regrette Dominique Farge, la maladie étant alors trop évoluée pour que les patients puissent tirer un bénéfice de l'autogreffe. Et ce sont souvent ces patients récusés de greffe qui choisissent alors de se rendre en Inde, au Mexique et auparavant en Russie, où des cliniques proposent des traitements peu standardisés.


SPL/PHANIE

L'IRM permet de visualiser les plaques d'inflammation dans le système nerveux central (ici en rouge, dans le cerveau), caractéristiques de la SEP.

D'autres sources de cellules souches se profilent

Selon les experts réunis à l'Ectrims, les résultats à venir de nombreux essais de phase 3 en cours (RAM-MS, STAR-MS, BEAT-MS…), comparant l'autogreffe aux molécules aujourd'hui les plus prescrites (alemtuzumab, ocrelizumab…), seront éclairants. Mais déjà se profilent d'autres sources de cellules souches, celles dites mésenchymateuses stromales, présentes non pas dans le sang mais, par exemple, dans la graisse ou le cordon ombilical, et bien plus faciles d'accès. Un essai chez l'animal doit justement démarrer bientôt à Rennes. ■

Les traitements de l'espoir contre la maladie du foie gras

Conséquence directe de la multiplication des cas d'obésité, la stéatose hépatique non alcoolique (Nash) peut dégénérer en cirrhose, voire en cancer… De nouveaux médicaments sont en phase de test. Mais ils ne seront efficaces qu'avec une amélioration de l'hygiène de vie des malades.

En France, 8 millions de personnes auraient le foie trop gras. Et près de 12 % d'entre elles, soit environ 900 000 personnes, souffriraient d'une stéatose hépatique non alcoolique (Nash) dite maladie du foie gras. En cause, une mauvaise alimentation et un manque d'activité physique qui peuvent à terme dégénérer en cirrhose — même si le patient ne boit pas d'alcool —, voire en cancer. À partir de la cirrhose, différents symptômes peuvent apparaître : écoulement de liquide dans l'abdomen (ascite), désorientation, perte de contrôle des sphincters, incapacité à s'exprimer… Une étude menée par l'Inserm en France et le King's College de Londres (Royaume-Uni) vient même de révéler que l'accumulation de graisse dans le foie entraîne une diminution de l'oxygène dans le cerveau et une inflammation des tissus cérébraux — deux phénomènes associés à une augmentation du risque de maladies neurologiques graves comme la démence. « *La maladie du foie gras est une conséquence directe de l'épidémie d'obésité dans le monde* », déplore le professeur Lawrence Serfaty, hépatologue au Centre hospitalier universitaire (CHU) de Strasbourg (*lire l'entretien p. 73*). Et il n'existe toujours aucun traitement.

J-M LOOS/PHOTOPQR/L'ALSACE/MAXPPP

Le FibroScan est une technique non invasive qui mesure la graisse et la dureté du foie : deux indicateurs d'une stéatose hépatique.

Mais les choses sont en passe de changer : une dizaine de molécules prometteuses sont aujourd'hui en essai clinique de phase 3, dernière étape avant une possible autorisation de mise sur le marché. Les laboratoires pharmaceutiques sont intéressés car « *les traitements de la Nash représentent un marché juteux étant donné le nombre de personnes atteintes* », explique Marc Badou, hépatologue et ancien membre de l'Agence nationale de sécurité du médicament (ANSM) et de la Haute Autorité de santé (HAS). Ces molécules ont la lourde tâche de s'attaquer aux deux conséquences d'un excès de graisse dans le foie : l'inflammation et la fibrose, c'est-à-dire un épaississement du tissu conjonctif fibreux *(voir l'infographie p. 72)*. En moyenne, pour toutes les molécules testées, 42 % des personnes traitées connaissent une nette amélioration du fonctionnement des cellules hépatiques. Mais la mise au point de ces traitements est un défi car les nombreux mécanismes influant sur le développement de la maladie sont autant de leviers thérapeutiques à explorer : acide gras, taux de cholestérol, sensibilité à l'insuline…

Première piste d'attaque : la lipogenèse, c'est-à-dire la synthèse d'acide gras à partir du glucose absorbé. C'est elle qui est visée par le laboratoire français Inventiva : son Lanifibranor active en

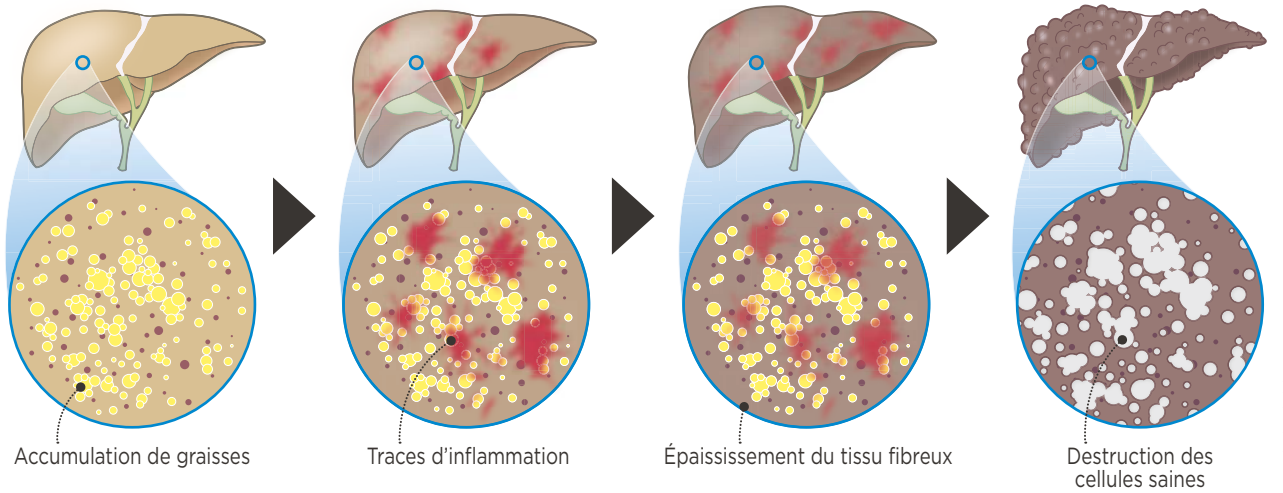
Une dégradation progressive du foie

Stéatose
Au-delà de 5 % de graisse dans les hépatocytes, le foie est considéré comme trop gras : il souffre de stéatose. À ce stade, les caractéristiques sont encore réversibles : le patient peut retrouver un foie sain en modifiant son alimentation.

Nash
On parle de Nash quand l'excès de graisse (stéatose) engendre des lésions du foie, créant une inflammation. Les cellules hépatiques sont aussi plus gonflées que dans un foie sain. Peu à peu, le foie se durcit et évolue vers une fibrose.

Fibrose
S'ajoute à l'excès de graisse et à l'inflammation, l'épaississement du tissu conjonctif fibreux du foie. Plus le foie est dur, plus la fibrose est avancée.

Cirrhose
Les cellules saines ne peuvent plus fonctionner correctement et sont détruites. Les premiers symptômes graves apparaissent. Seule la transplantation hépatique peut alors sauver le patient. La maladie peut aussi évoluer vers un cancer.



BRUNO BOURGEOIS

effet trois protéines qui contrôlent l'expression de certains gènes. Avec pour effet une diminution de la lipogenèse, mais aussi de l'inflammation et de la fibrose. Cette molécule favorise également la synthèse de « bon » cholestérol et la sensibilité à l'insuline. *« Les précédents essais cliniques du Lanifibranor étaient concluants. On atteignait 50 % de régression de la Nash chez les personnes traitées, contre 22 % chez les patients placebo »*, s'enthousiasme Joel Haas, chercheur à l'Inserm, spécialiste de l'implication du tissu adipeux dans la maladie. En espérant que les derniers essais, toujours en cours, fassent aussi bien.

Moins avancé dans le processus de validation, le Resmetirom, du laboratoire américain Madrigal, agit lui aussi sur les lipides, mais par une voie différente : il mime l'action des hormones thyroïdiennes et inhibe ainsi une partie de la production de lipides. *« Il ne cible que les récepteurs présents dans le foie et pas les autres, pour éviter les effets néfastes connus de ces hormones : insuffisance cardiaque ou perte de poids trop importante, par exemple »*, relève Sarra Smati, endocrino-diabétologue au CHU de Nantes. La phase 3 actuelle a pour but de valider des résultats de phase 2 peu significatifs car obtenus sur une centaine de patients seulement. Cette fois, près de 2000 volontaires sont mobilisés, pour des résultats attendus courant 2023.

Une rémission observée chez 56 % des patients d'une étude

L'apparition d'un diabète ayant des mécanismes communs avec ceux de la Nash, d'autres chercheurs ont testé des molécules déjà utilisées pour cette maladie. C'est le cas du sémaglutide

FACTEURS DE RISQUE

Le diabète, un terrain favorable

Avec le surpoids et le cholestérol, le diabète fait partie des principaux facteurs de risque de la maladie du foie gras. D'après le professeur Laurent Castera, lors de la conférence Nash Paris, *« pour 4 millions de diabétiques en France, la moitié serait ainsi atteinte d'une Nash. Une proportion qui grimpe à 80 % pour les diabétiques de type 2, forme la plus répandue, liée à l'alimentation trop riche en graisse et en sucres »*. Le diabète partage en effet plusieurs mécanismes favorisant l'apparition de la Nash, dont l'altération de la sensibilité à l'insuline. Celle-ci ne joue plus son rôle de régulateur glycémique, rendant instable le taux de sucre dans le sang. Cependant, la majorité des diabétiques atteints d'une Nash l'ignorent : *« Le foie n'est pas dans le radar des diabétologues. Pourtant, ils regardent les conséquences sur beaucoup d'autres organes comme les yeux ou les reins »*, pointe le professeur Laurent Castera, du service hépatologie de l'hôpital Beaujon, à Clichy (Hauts-de-Seine).

LAWRENCE SERFATY HÉPATOLOGUE AU CENTRE HOSPITALIER UNIVERSITAIRE (CHU) DE STRASBOURG, PRÉSIDENT DE LA CONFÉRENCE ANNUELLE NASH PARIS

« 90 % des malades ne sont pas diagnostiqués »

PASCAL BASTIEN/DIVERGENCE POUR SCIENCES ET AVENIR-LA RECHERCHE

“Pour diagnostiquer la Nash, il faut réaliser une biopsie du foie. Mais c'est un examen très invasif et trop coûteux pour qu'on puisse tester toutes les personnes à risque. C'est pourquoi 90 % des malades ne sont pas diagnostiqués. L'enjeu est donc de continuer à trouver d'autres marqueurs, qu'on pourrait identifier à partir d'examens simples. Par exemple, des tests sanguins ou l'imagerie médicale, comme l'échographie, ou encore le FibroScan qui a révolutionné le diagnostic des maladies hépatiques. Cet appareil prend en compte deux paramètres du foie : son élasticité et son atténuation ultrasonore. Il permet ainsi de mesurer la graisse et la dureté de l'organe. Plus le foie est dur, plus il est fibreux et plus la maladie est avancée. Ce sont des indicateurs simples, que le généraliste peut repérer à son cabinet grâce à ces outils. Pour déterminer les prédispositions d'un patient à la Nash avant de lui faire passer les examens, le médecin réalise un test qu'on appelle « FIB 4 ». Il intègre des critères dont l'âge, le taux de plaquettes dans le sang et les transaminases, enzymes nécessaires dans certaines réactions chimiques dans le foie. Le résultat, sous forme de chiffre, indique alors l'une des trois options suivantes : l'absence de risque, la nécessité d'une surveillance ou bien l'établissement d'une prise en charge et d'un parcours de soins.” ■

Propos recueillis par M. P.

(commercialisé par Novo Nordisk sous le nom Ozempic). Administré en principe aux diabétiques pour réduire le taux de glucose et d'insuline dans le sang, il s'est révélé parmi les plus prometteurs contre la Nash en permettant la rémission de 56 % des patients, contre 20 % pour ceux traités avec un placebo. Un ultime essai clinique est désormais en cours pour lui faire tenir sa promesse. Mais si ces pourcentages de rémission comptent dans la décision des autorités de santé pour son autorisation de mise sur le marché, Marc Badou rappelle que *« le premier critère reste l'impact sur l'histologie hépatique des patients, c'est-à-dire une amélioration substantielle de l'inflammation du foie et de la fibrose »*. À plus long terme, les laboratoires devront prouver que cette amélioration de l'histologie est associée à un bénéfice en termes de morbi-mortalité. Au-delà des chiffres, les essais cliniques permettent de confirmer que le suivi médical régulier des patients, qu'ils aient bénéficié de la molécule testée ou du placebo, influe sur leur psychologie, les incitant à adopter une meilleure hygiène de vie. *« Le premier traitement de la Nash doit rester les mesures hygiéno-diététiques. Elles sont redoutablement efficaces, même si la difficulté reste de les ancrer dans les habitudes des patients, afin d'éviter les rechutes »*, précise Claire Carette, nutritionniste et diabétologue à l'hôpital Georges-Pompidou (Paris).

Identifier les patients pouvant développer une forme grave

Malgré les résultats prometteurs des essais cliniques, hépatologues, diabétologues et chercheurs demeurent prudents. Sarra Smati met en garde : *« On a vu tellement de molécules s'arrêter en plein développement et à différents stades, qu'on attend avec impatience que des essais soient menés jusqu'au bout. »* Dernier échec en date : le 30 septembre dernier, l'américain Intercept Pharmaceuticals a annoncé l'arrêt de son essai de phase 3 de l'acide obéticholique, inhibiteur de la production de lipides, chez les patients ayant une Nash parvenue au stade de cirrhose, dont les résultats étaient très attendus. *« Le traitement n'a pas eu les effets escomptés en matière de réduction de la fibrose »*, précise Joel Haas.

Lorsque les résultats seront satisfaisants et validés, l'ANSM et la HAS devront encore répondre aux questions essentielles : quand doit-on traiter ? Pendant combien de temps ? En association ou non avec d'autres traitements ? Certains traitements pourraient déjà être donnés en prévention de la fibrose, au stade 2 *(voir l'infographie)*. Mais l'un des enjeux actuels de la recherche reste d'identifier les patients susceptibles de développer des formes graves et des complications. Et même pour eux, Marc Badou insiste : *« Ces prises en charge médicamenteuses ne se conçoivent qu'avec une amélioration de l'hygiène de vie sur le long terme, sans quoi elles ne peuvent pas être efficaces. »* ■ **Marie Parra** @MarieParra18

Une seule Terre, une seule santé

La table ronde d'ouverture de la journée « Santé globale, le nouveau défi », qui s'est tenue à Strasbourg le 25 novembre à l'initiative de la région Grand Est, a pointé la nécessité de considérer la santé humaine avec la thématique de l'environnement. Autour d'une question : « Comment éviter une autre pandémie ? »

C'est l'un des nouveaux défis de la médecine de demain : intégrer à notre compréhension de la santé humaine notre rapport à l'environnement. Déforestation, urbanisation, déplacement des espèces sauvages, dégradation des écosystèmes, santé des élevages et, de plus en plus, réchauffement climatique… Réussir à appréhender ces multiples facteurs environnementaux interconnectés dans l'amélioration des soins, c'est cela que recouvre le concept de « One Health » (« une seule santé ») *(lire ci-contre)*.
« *Il faut faire atterrir le concept, qui est resté jusqu'ici un peu planant* », attaque Benjamin Roche, directeur de recherche à l'Institut de recherche et de développement (IRD). Cette ambition a le vent en poupe, après trois années marquées par la pandémie de Covid-19. Mais une fois établi que toutes les santés — environnementale, animale et humaine — sont liées, comment avancer ? Le chercheur est engagé dans un programme international ambitieux de prévention des maladies zoonotiques, Prezode, qui vise à mettre en place un système de surveillance et donc de prévention des virus émergents. « *Nous avons aujourd'hui quatre fois plus d'épidémies à travers le monde qu'au siècle dernier,* rappelle-t-il. *Essentiellement des zoonoses, ces agents pathogènes qui passent de l'animal à l'humain : sida, Ebola, grippes aviaires ou porcines, Zika…* »
Lancé en janvier 2021 lors du One Planet Summit sur la biodiversité, à l'initiative de l'Inrae, de l'IRD et du Cirad, le programme est désormais porté par près de 170 partenaires, dont 16 gouvernements. Benjamin Roche se félicite d'avoir finalisé l'élaboration « *dans la péninsule du Yucatan, au Mexique, d'un premier territoire maillé par une stratégie One Health cohérente. Avec des populations de plus en plus rapprochées physiquement et de plus en plus connectées, on a un cocktail parfait pour les sauts d'espèce d'agents pathogènes, avec les animaux domestiques comme passerelles facilitant l'émergence de zoonoses.* » Reste à adapter cette stratégie à

FORUM SANTÉ GLOBALE

Experts francais et européens en santé, environnement, numérique… se sont succédé tout au long de la journée.

ÉCHANGES

Un dialogue constructif

C'est à une réflexion de fond sur la préservation de notre santé, qu'ont été consacrées les Rencontres de l'Est, le 25 novembre à Strasbourg. Titrées « Santé globale. Le nouveau défi », elles ont permis de faire dialoguer François Braun, ministre de la Santé et de la Prévention, et Jean Rottner, président de la région Grand Est. Les meilleurs spécialistes français, mais aussi de Suisse, d'Italie, de Belgique et du continent européen, ont rappelé à quel point étaient cruciaux la préservation de l'environnement et des écosystèmes — avec le concept de One Health, la lutte contre le réchauffement climatique, les bénéfices à tirer du numérique et de l'intelligence artificielle, comme de l'attention à soi (nutrition, sport, sommeil). Dominique Leglu

ADAM DEAN/THE NEW YORK TIMES-REDUX-REA

Les chauves-souris sont des réservoirs de très nombreux virus (ici, prélèvement de spécimens en Thaïlande par des chercheurs en maladies infectieuses).

CASIMIRO VIZZINI

EXPERT INTERNATIONAL EN POLITIQUES SCIENTIFIQUE ET D'ÉDUCATION

One health ou l'approche de la santé globale

"Le terme de santé globale existe dans la littérature depuis les années 1940, mais ce n'est qu'à partir des années 1990, avec la globalisation, qu'il a pris de l'importance.
Le mot global peut être décliné en deux éléments : l'impact et la solution. L'impact est lié à la santé de l'humanité ; la solution est de collaborer à l'international et entre les disciplines.
« One health » est l'approche scientifique idéale pour atteindre une santé globale, car elle repose sur une interconnexion entre les santés humaine, animale et de l'environnement. La santé globale va néanmoins au-delà : elle intègre la diplomatie scientifique, mais aussi l'économie ou l'ingénierie."

d'autres points chauds. Car « *nous courons vers un monde où nous vivrons des pandémies à répétition* », prévient-il.

Le changement climatique, un facteur incontournable

L'anthropologue Frédéric Keck, directeur de recherche au sein du Laboratoire d'anthropologie sociale (CNRS/Collège de France/EHESS), constate lui aussi que cette réforme nécessaire du One Health en médecine humaine est en train de passer du niveau global à l'échelle territoriale. « *Il faut pouvoir mettre en place des territoires sentinelles, que ce soit en Asie du Sud-Est ou en Afrique de l'Ouest notamment. C'est ce qui est fait à une autre échelle pour la grippe aviaire en France, où la Vendée et le Gers, régions productrices de volailles, servent de territoires sentinelles.* » Même son de cloche chez Benoît Miribel, secrétaire général de la fondation Une santé durable pour tous. L'homme de terrain, qui a notamment dirigé Action contre la faim, plaide pour une mise en pratique opérationnelle plus vaste dans les politiques de santé. Presque une réforme : « *Il faut prendre conscience qu'à chaque fois qu'on agit sur tel ou tel facteur, cela change quelque chose dans l'environnement : quand vous végétalisez une ville, il faut anticiper une modification de la biodiversité locale (rats, insectes, etc.).* »

Mais un autre facteur environnemental devient désormais incontournable dans notre santé : le réchauffement climatique. Mathilde Pascal, chargée de projet changement climatique et santé à Santé Publique France, rappelle ainsi que la multiplication des canicules s'accompagne d'une surmortalité, que les incendies favorisés par les sécheresses sont aussi des facteurs de pollution de l'air. « *Pour notre santé, il faut non seulement tout faire pour ralentir le réchauffement, mais d'ores et déjà s'adapter à ce nouveau climat et aux événements extrêmes qui l'accompagnent. Car malheureusement, jusqu'ici, nous ne sommes pas du tout sur une tendance permettant de maintenir un avenir viable.* » Mais tout cela aura un coût. « *Il faut soutenir dès aujourd'hui les communautés chez qui les effets du changement sont déjà les plus importants, libérer du financement* », insiste Vanina Laurent-Ledru, directrice générale de la toute jeune Fondation S. (créée au sein de Sanofi). Exemple d'action, face à la multiplication des inondations de plus en plus meurtrières : « *Nous avons financé un bateau-hôpital pour atteindre les populations vulnérables.* » De nombreuses autres seront nécessaires. ■

Hugo Jalinière @Hugojaliniere

LE + NUMÉRIQUE
Toutes les interventions de la journée sont à revoir sur www.lesrencontres santeglobale.fr/

Chocolat, le plaisir assumé

Riche en antioxydants et en nutriments aux effets relaxants, le chocolat doit être consommé avec modération et en privilégiant la qualité.

Noir extra, praliné, truffé… Le chocolat est un incontournable des fêtes de fin d'année : les ventes de Noël 2021 en grandes et moyennes surfaces ont rapporté 694 millions d'euros (contre 319 millions d'euros pour Pâques) (1). Qualifiées par les Aztèques de « nourriture des dieux » capable de soigner de nombreux maux, les précieuses fèves sont issues de trois grandes variétés de cacaotiers : le forastero (qui représente environ 80 % de la production mondiale), le trinitario (10 à 20 % de la production) et, plus rare, le criollo (1 %) (2).

Un long processus de fabrication

Dans la cabosse, les fèves de cacao sont enveloppées d'une pulpe blanche et gélatineuse, le mucilage. Après une fermentation de six à huit jours afin de réduire leur amertume, les fèves sont séchées une à deux semaines avant leur transformation : concassage, torréfaction et broyage permettent d'obtenir la pâte de cacao. Le pressage sépare ensuite la partie liquide, le beurre de cacao, de la partie solide, le tourteau, lequel donnera le cacao en poudre. La pâte, mélangée à du beurre de cacao et du sucre, donne du chocolat noir. On y ajoute de la poudre de lait pour la confection du chocolat au lait, tandis que le blanc est obtenu uniquement à partir de beurre de cacao, de sucre et de lait en poudre. Depuis 2003, le beurre de cacao peut être remplacé à hauteur de 5 % par d'autres matières grasses végétales (huile de palme, beurre de karité…).

13,2 kg

de chocolat sont consommés par foyer et par an en France.

(SOURCE : KANTAR)

BERNARD MARTINEZ POUR SCIENCES ET AVENIR – LA RECHERCHE

TORRÉFACTION Étape permettant de griller les fèves de cacao entre 100 et 140 °C pendant trente minutes afin d'en libérer les arômes.

INDICE FRAP Test évaluant le pouvoir antioxydant des aliments, exprimé en millimoles (mmol) d'antioxydants par 100 g d'aliment. Au-delà de 10, la capacité antioxydante est considérée comme très élevée.

ALCALINISATION Technique conduisant à neutraliser l'acidité du cacao et à modifier sa couleur. Les agents alcalins utilisés sont des carbonates de potassium ou de magnésium.

Le noir est le moins sucré… mais le plus doté en matières grasses

Riche en fer (11 mg/100 g) et en potassium (750 mg/100 g), le chocolat noir 70 % contient le plus de fibres (12,8 g/100 g contre 1 g/100 g pour le chocolat blanc), régulatrices du transit intestinal. Il est aussi le moins sucré (18 g/100 g de sucre contre 56 g/100 g pour le chocolat blanc), sachant que plus le pourcentage en cacao est élevé (65 à 99 %), plus la quantité de sucre est faible. Revers de la médaille, le chocolat noir est le plus riche en matières grasses avec 46,3 g/100 g de lipides contre 30,8 g/100 g pour le chocolat au lait. Le beurre de cacao est constitué d'acides gras mono-insaturés sous la forme d'acide oléique (13,7 g/100 g), protecteur du cœur, et d'acides gras saturés (28,7 g/100 g), dont l'acide palmitique et l'acide stéarique. Ce dernier a toutefois la particularité de se transformer dans l'organisme en acide oléique. Le chocolat noir contient peu de cholestérol (6 mg/100 g, contre 23 mg/100 g pour le chocolat blanc) (3).

Le chocolat est riche en antioxydants…

Les fèves sont riches en polyphénols, dont les flavanols à l'origine de l'amertume du cacao. Toutefois, tous les chocolats ne se valent pas. Si le noir reste riche en flavanols, concentrés dans la pâte de cacao, c'est moins le cas des chocolats au lait et blanc. Par exemple, le chocolat noir Excellence Lindt extrafin à 85 % de cacao indique un indice FRAP de 13,58 contre 0,23 pour du chocolat blanc (4). Des travaux ont montré que l'étape d'alcalinisation du cacao lors de la transformation des fèves peut réduire jusqu'à dix fois les teneurs en flavanols du cacao (5).

… protecteurs du cœur et des artères

Diverses études montrent que les flavanols auraient des effets cardioprotecteurs en faisant baisser la tension artérielle et la résistance à l'insuline, réduisant le risque de diabète. Parmi eux, les monomères d'épicatéchine seraient les plus efficaces pour augmenter la capacité des cellules bêta du pancréas à produire de l'insuline et à mieux réguler la glycémie, selon des travaux menés sur le rat (6). En outre, consommer chaque jour une quantité modérée de chocolat (6 g, soit l'équivalent d'un petit carré) réduirait de 39 % le risque d'accident vasculaire cérébral et d'infarctus du myocarde (7).

Ses nutriments font du bien au moral

Croquer quotidiennement 30 grammes de chocolat réduirait les pensées négatives en exerçant des effets prébiotiques, à condition qu'il soit noir à 85 % de cacao, d'après des travaux coréens (8). Le chocolat renferme aussi du magnésium (200 mg/100 g de chocolat noir extra à plus de 70 % de cacao), connu pour ses effets relaxants, de la théobromine (proche de la caféine), qui procure une sensation de bien-être, ainsi que du tryptophane, un acide aminé précurseur de la sérotonine, un neuromédiateur qui améliore l'humeur. En outre, le chocolat renferme de faibles quantités de phényléthylamine et d'anandamide, lesquelles favorisent la libération de dopamine. Toutefois, si certaines personnes se disent « accros » au chocolat, aucune étude ne prouve qu'il agisse comme une drogue. ■

Sylvie Boistard @syboistard

VANESSA BEDJAÏ-HADDAD Diététicienne nutritionniste à Paris

Éviter les graisses végétales

« Noir, blanc ou au lait, le chocolat est très calorique (entre 550 et 600 kcal/100 g). Mais, par rapport aux pâtes de fruits par exemple, ses graisses abaissent l'index glycémique du produit. Il ne faut donc pas bouder son plaisir et choisir celui que l'on préfère, sans dépasser 30 g par jour. En revanche, la qualité du produit me semble importante. On choisit un chocolat avec le moins d'ingrédients possible, sans additifs (lécithine), ni autres graisses végétales (beurre de karité, huile de palme) que le beurre de cacao. »

(1) Syndicat du chocolat.

(2) Les Vertus du chocolat, Dr Franck Senninger, éditions Jouvence, 2017.

(3) Table nutritionnelle Ciqual, Anses.

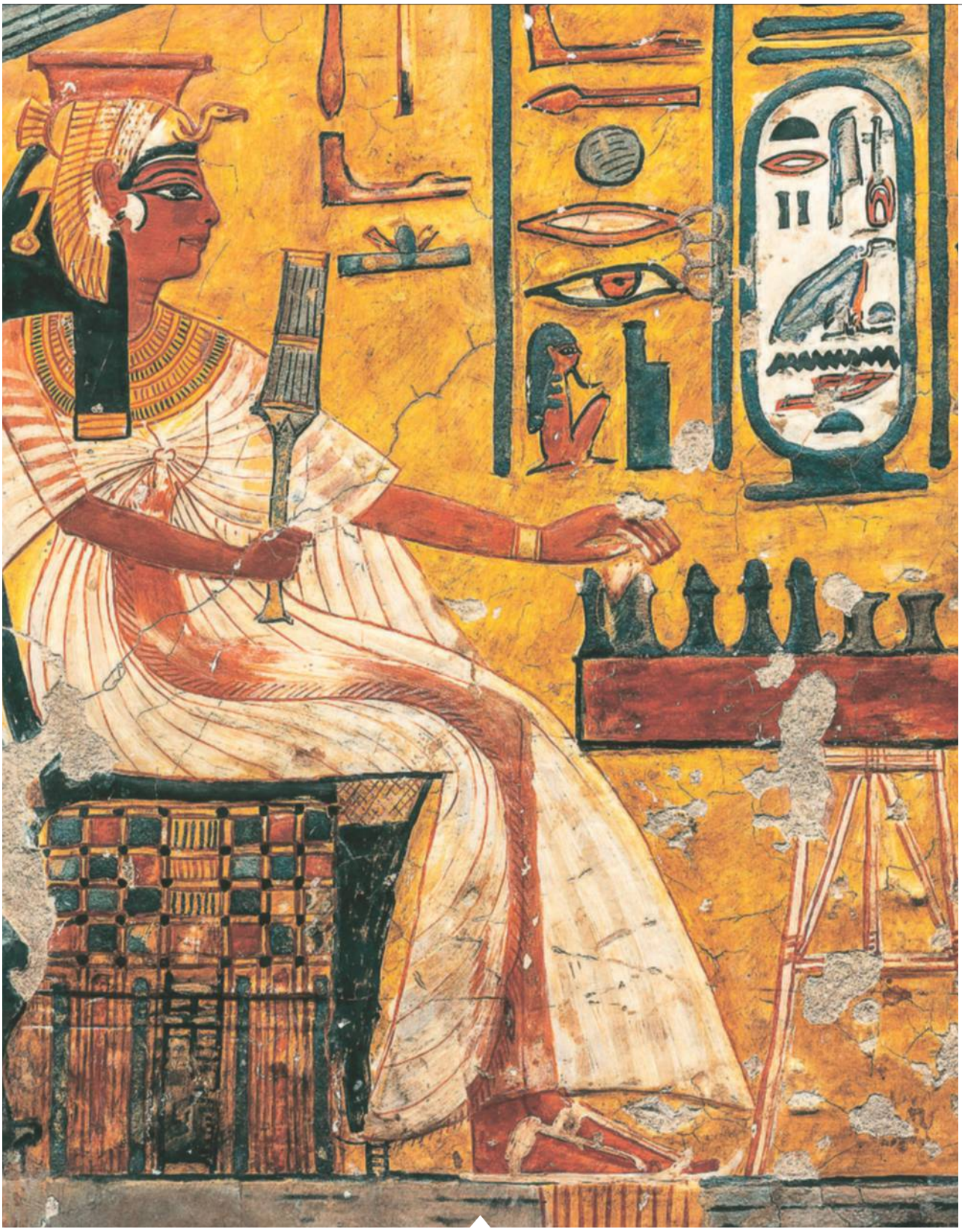
(4) Guide des aliments antioxydants, Juliette Pouyat-Leclère, Thierry Souccar Éditions, 2013.

(5) Impact of Alkalization on the Antioxidant and Flavanol Content of Commercial Cocoa Powders, Miller K. B. et al, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2008.

(6) Monomeric cocoa catechins enhance ß-cell function by increasing mitochondrial respiration, Rowley T. J. et al, *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 2017.

(7) Chocolate consumption in relation to blood pressure and risk of cardiovascular disease in German adults, Buijsse B. et al, *European Heart Journal*, 2010.

(8) Consumption of 85 % cocoa dark chocolate improves mood in association with gut microbial changes in healthy adults: a randomized controlled trial, Shin J.-H. et al, *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 2022.



G. DAGLI ORTI / DE AGOSTINI PICTURE LIB. / AKG IMAGES

Longtemps délaissé par l'histoire et l'archéologie, le jeu était pourtant omniprésent dans les sociétés antiques. Ici, la reine Néfertari (XIIIe siècle avant J.-C.) est représentée s'adonnant au jeu du « senet », sur cette fresque ornant sa sépulture à Louxor (Égypte).

Jeux de société

Comment ils racontent les grandes civilisations antiques

À partir de sources écrites, archéologiques et iconographiques, un projet européen inédit, mené par une douzaine de chercheurs, a permis de mettre en évidence la place sociétale, culturelle et religieuse qu'occupait le jeu dans l'Antiquité égyptienne, grecque et romaine.

Par Marine Benoit @marin_eben

Aristote (384-322 avant J.-C.) pensait qu'*« il serait étrange que la fin de l'Homme fût le jeu »*. Que le philosophe grec ait tort ou raison, le jeu fut en tout cas présent au commencement de l'humain. De là à dire qu'il naquît avec lui… Des temps préhistoriques, aucune trace de jeu n'est à ce jour parvenue jusqu'à nous. Mais il est difficile de croire que les premiers petits *sapiens* ne se livraient pas à des espièglerie en plein air ou que leurs aînés n'avaient pas mis au point des façons de se divertir avec ce que la nature avait à leur offrir. Quoi qu'il en soit, la première preuve concrète remonte au IV^e^ millénaire avant J.-C. en Égypte, avec la pratique du jeu de pions. Au sein de la nécropole prédynastique d'El-Mahasna, dans la région d'Abydos, un petit plateau en terre cuite et ce que des archéologues décrivent comme des pièces de jeu ont été exhumés en 1909 d'une tombe de femme. Ce premier ancêtre supposé de nos jeux de plateau aurait accompagné la défunte dans son dernier voyage entamé il y a plus de 5000 ans… Mais qui, lorsqu'il songe aux anciens Égyptiens ou aux peuples des premières cités mésopotamiennes, visualise une tranquille partie de jeu de société entre deux individus ? Les hommes, les femmes et les enfants de ces époques reculées n'ont pourtant pas passé tout leur temps à cultiver, bâtir des temples ou faire la guerre. Ils ont aussi vécu leur quotidien comme nous vivons le nôtre, en jouant régulièrement, parfois même déraisonnablement, dans la sphère publique comme au sein de leur foyer. L'omniprésence du jeu dans les différentes sociétés de l'Antiquité n'a pourtant pas toujours suffi à lui donner son importance en archéologie. Il a y encore quelques années, la culture ludique

ACTIVITÉS

Dans l'Antiquité, les enfants jouaient déjà à la poupée

Tout comme les jeux d'adultes, les jeux et jouets d'enfants de l'Antiquité ont longtemps été relégués au rang des objets archéologiques « insolites » et peu propices à des recherches d'envergure. Rares sont pourtant les artefacts qui témoignent avec autant de force de la vie quotidienne et de la place accordée aux plus petits, souvent « oubliés » en archéologie. Dans le monde gréco-romain, les jouets sont d'ailleurs nombreux. De petites pyramides de galets empilables, des hochets capables de produire un rythme musical ou de petits chariots de marche nous montrent par exemple que l'éveil des bébés était une préoccupation. Les enfants, quelle que soit leur classe sociale, s'amusaient de leur côté avec des jouets semblables en tous points à ceux d'aujourd'hui : pléthore de poupées articulées en bois ou en terre cuite ont été retrouvées, mais aussi des chevaux à roulettes, des pièces de dînette, des toupies, des cerceaux, des billes ou encore des balles. Des vases décorés attestent même de l'existence de balançoires ! Bien que plus rares, les jouets retrouvés chez les Égyptiens sont relativement similaires.

Poupée articulée en bois utilisée dans l'Égypte antique.

MUSÉE DU JOUET MOIRANS-EN-MONTAGNE. PHOTOGRAPHIE DIDIER LACROIX

n'avait même presque jamais été étudiée scientifiquement, malgré l'abondance des objets retrouvés pour la période antique. « *Longtemps, le jeu a été considéré comme un chapitre mineur de l'histoire de l'humanité, que de simples objets de curiosité présentés derrière une vitrine de musée suffisaient à dépeindre* », explique Véronique Dasen, professeure d'archéologie classique à l'université de Fribourg (Suisse). Grande spécialiste du jeu romain, c'est en partie à elle que l'on doit un changement de paradigme : à force de détermination, elle a obtenu en 2017 du Conseil européen de la recherche un financement de 2,5 millions d'euros pour son projet de recherche inédit autour du jeu antique. Baptisé Locus Ludi, il a permis durant cinq ans à une douzaine d'archéologues, philologues, historiens et anthropologues de remonter aux origines du jeu pour tenter de comprendre la place que ce dernier occupait dans les grandes civilisations plurimillénaires. En octobre 2022, Locus Ludi est arrivé à son terme et a touché au but : grâce à la publication de nombreuses études rassemblées en partie dans un numéro spécial de la revue d'études antiques *Pallas*, le projet a démontré que le jeu est une mine d'informations archéologiques totalement inexploitée. « *Tout le monde joue, de l'esclave au roi, si bien que le jeu est une porte d'accès à des pans entiers de la société jusqu'alors impénétrables pour les archéologues et les historiens* », assure Véronique Dasen. Les hommes et les femmes de telle ou telle civilisation jouaient-ils ensemble ? Aux mêmes jeux ? Les adultes s'amusaient-ils avec les plus jeunes ? « *Cela nous permet de penser comme nous n'avions jamais pu le faire le genre, l'enfance, les loisirs, l'éducation ou même encore la religion et la mort, puisque de très nombreux jeux ont été retrouvés en contexte funéraire.* »

Égypte

Jouer pour réunir les vivants et les morts

En Égypte, les tombes sont les sources principales d'informations sur le jeu. Ce dernier apparaît sous sa forme figurée dès le début de l'Ancien Empire (environ 2700-2200 avant J.-C.), sur un mur du mastaba d'Hesyrê, un fonctionnaire de la III^e^ dynastie (2700-2625 avant J.-C.). Une représentation détaillée du mobilier funéraire du défunt y est dessinée. Au milieu des représentations de meubles, outils, vases…, se distinguent trois jeux de plateau, vraisemblablement utiles à la vie du défunt dans l'au-delà. Au cours de la dynastie suivante (2625-2510 avant J.-C.), ces mêmes jeux sont nommés : dans le tombeau du grand prêtre Rahotep, à Meïdoum, les mots *mehen* (pour « être lové », qui désigne le « jeu du serpent », reconnaissable à son plateau en spirale) et *senet* font leur apparition. Le second, sorte de jeu de l'oie joué avec des pions à têtes humaine ou animale, deviendra l'un des jeux les plus populaires de toute l'Égypte antique.
Au cours de l'Ancien Empire, la dimension symbolique du jeu s'affirme pour de bon. « *On trouve des images du défunt en train de jouer avec quelqu'un, souvent un vivant, dans une configuration où le plateau de jeu devient un pont entre le monde des vivants et des morts* », explique Marie-Lys Arnette, égyptologue à l'université Johns-Hopkins (Baltimore, États-

CHARLES EDWIN WILBOUR FUND/BROOKLYN MUSEUM

Le jeu du « senet » était très populaire dans l'Égypte antique. Des exemplaires luxueux ont été conservés comme celui-ci, trouvé dans la tombe d'Amenhotep III (XIVe siècle avant J.-C.).

Unis). Cette place du jeu dans l'au-delà est attestée par les *Textes des sarcophages*, au Moyen Empire (2033-1786 avant J.-C.), et se voit explicitée plus tard dans le *Livre des morts*, principal corpus funéraire du Nouvel Empire (environ 1500-1000 avant J.-C.), avec le *senet*. Jouer serait ainsi moins une épreuve destinée à faire remporter au défunt son droit d'entrée dans l'autre monde qu'une *« fin en soi, un but à atteindre, sans gage d'accès »*, poursuit la chercheuse. Dans la vie terrestre — et non céleste, cette fois — des Égyptiens, le jeu de plateau est bien un loisir, un plaisir auxquels s'adonnent quotidiennement les petites mains du royaume comme le pharaon lui-même. Les membres de l'élite s'affrontent sur des plateaux de *senet* plus somptueux les uns que les autres, retrouvés en nombre dans leurs sépultures, tandis qu'à Deir el-Médina, vaste village où résidaient les artisans chargés de la construction des tombeaux de la Vallée des Rois et de la Vallée des Reines, on se contente de plateaux sommairement dessinés sur des blocs de pierre. Marie-Lys Arnette en a retrouvé pas moins d'une trentaine, gravés ou tracés au pigment noir, qui semblent témoigner d'une pratique du jeu de société au quotidien. *« On peut aussi légitimement supposer que bien d'autres plateaux, faits en matériaux périssables ou tracés au sol dans le sable et la poussière, ne sont pas parvenus jusqu'à nous. »*

Curieusement, les archéologues ont constaté à Deir el-Médina que le *senet*, incontournable à la cour, n'était pas le jeu favori : c'est le jeu des vingt cases, jeu de course dont des exemplaires datant de 2600 avant J.-C. ont été retrouvés au Proche et au Moyen-Orient, qui est le plus représenté. *« Cela montre non seulement que le temps des loisirs existait chez les travailleurs mais que ces derniers étaient ouverts aux modes de leur temps — en l'occurrence, à un jeu très apprécié à ce moment-là en Mésopotamie »*, poursuit la chercheuse. De ces vingt cases, jeu de stratégie que l'on retrouve dans tout le monde oriental mais qui pourrait provenir de la vallée de l'Indus, un exemplaire sort particulièrement du lot : il s'agit du jeu royal d'Ur, sublime plateau de bois décoré d'une marqueterie de coquillages, de cornaline et de lapis-lazuli. Découvert aux côtés d'autres plateaux semblables dans une tombe du cimetière royal d'Ur, l'une des plus anciennes cités de l'humanité située en actuel Irak, il reste aujourd'hui l'une des preuves les plus anciennes de la pratique du jeu en dehors de l'Égypte, il y a plus de 4500 ans.

Grèce
Jouer pour se civiliser

Avec les Grecs, dont l'influence est à son apogée à l'époque classique (Ve et IVe siècles avant J.-C.) et qui finissent par régner sur l'Égypte en 332 avant J.-C., le jeu se dote d'une nouvelle facette : il est pensé comme un outil « civilisateur » intimement lié à l'apprentissage scolaire, civique et religieux. *« La valeur positive du jeu est directement associée dans la Grèce classique à l'éducation et aux enfants,* affirme Véronique Dasen. *Platon explique notamment dans* Les Lois *(milieu du IVe siècle avant J.-C.) que les goûts des enfants en matière de jeu doivent être encouragés, puisque c'est par lui que se révèlent les talents et que s'assimilent les règles de la vie en société. »* Cette valeur positive du jeu transparaît jusque dans la mythologie grecque : c'est

NICOLAS BRODARD

« Le jeu est une porte d'accès à des pans entiers de la société jusqu'alors impénétrables pour les archéologues et historiens »

Véronique Dasen, professeure d'archéologie classique à l'université de Fribourg (Suisse)

Palamède, héros et compagnon d'Ulysse, qui invente les dés et les jeux de plateau pour tromper l'ennui de l'armée lors de l'attente de la guerre de Troie. *« Le jeu permet aux soldats de patienter en restant unis, d'exercer leur tactique et leur maîtrise d'eux-mêmes »*, explique Véronique Dasen. Ainsi dans tous les espaces publics de la cité grecque — dans la rue ou sur le marché, dans les gradins des théâtres, les gymnases ou les bains — hommes, femmes et enfants jouent *« et montrent qu'ils ont le temps de jouer, tant aux osselets qu'aux noix, aux pions, aux dés ou à la balle, parce qu'ils sont libres »*. De ces divertissements vertueux sont parvenus jusqu'à nous des milliers d'osselets, petits os issus des pattes de jeunes chèvres ou de moutons et transformés en objets tant ludiques que divinatoires. Ont également été retrouvés ce que les Grecs nomment *pente grammai* ou jeu des cinq lignes, jeu de stratégie qui se pratiquait avec un dé et des pions et dont des plateaux furent retrouvés dans des tombes, gravés sur des blocs ou dans le sol sur plusieurs sites archéologiques.

ÉTHOLOGIE

Un lien entre le jeu et le loup ?

La pratique du jeu chez l'humain serait au moins aussi ancienne que la domestication du loup, survenue au paléolithique il y a au moins 30 000 ans. C'est l'hypothèse émise par des éthologues et partagée par l'archéologue spécialiste du jeu Ulrich Schädler. *« Les petits primates, ordre auquel nous appartenons, restent accrochés à leur mère durant un ou deux ans et jouent peu avec leurs congénères*, affirme l'expert. *Les louveteaux et les chiots, eux, passent leurs temps à jouer entre eux »*. Cela ne veut bien sûr pas dire que l'humain ne jouait pas avant, mais pour Ulrich Schädler, *« il est en tout cas impossible que le jeu soit plus tardif que l'arrivée du chien dans son foyer »*.

Empire romain

Jouer pour gagner

Si les jeux d'argent se veulent discrets chez les Grecs, difficilement conciliables avec des valeurs didactiques, ils vont largement gagner du terrain dans la Rome antique, au point que l'empereur Justinien promulguera un édit en 529 pour tenter de les limiter. *« Il s'agissait notamment d'éviter que les joueurs, civils et soldats, ne contractent des dettes entre eux, sources de désordre dans les rangs »*, indique Thomas Daniaux, archéologue à l'université de Fribourg (Suisse). Amende équivalente à quatre fois la somme remportée, peine de prison ou même condamnation à l'exil : les risques encourus à miser de l'argent ne semblent pas pour autant freiner les ardeurs des Romains les plus parieurs, qui poursuivent dans l'ombre leurs longues parties de *Ludus Latrunculorum* — ou jeu des petits soldats — et surtout de dés, jeu d'argent par excellence. Il faut dire que les empereurs eux-mêmes étaient des joueurs invétérés : Auguste et Néron misaient régulièrement de grosses sommes (même si le premier renonçait souvent à ses gains pour ne pas décourager ses amis), Domitien passait des journées entières à jouer et Claude aurait consacré aux dés un ouvrage aujourd'hui disparu. *« Il aurait même fait fabriquer une table spéciale pour pouvoir jouer en voyage »*, raconte Véronique Dasen. *« Malgré l'interdiction, les Romains ont donc continué à parier à l'abri des regards, dans des tavernes ou même des salles de jeux clandestines »*, comme nous le prouve la découverte d'une pièce « secrète » aménagée sous une salle de la luxueuse Maison des Nones de Mars, à Limoges. Dans ce discret sous-sol furent retrouvés des jetons et trois petits dés en os, dont un truqué au plomb qui en dit long sur une autre pratique largement répandue dans l'Empire : la triche. *« Les Romains étaient devenus maîtres dans l'art de la fraude*

THE TRUSTEES OF THE BRITISH MUSEUM / DIST. RMN-GRAND PALAIS

De nombreuses amphores grecques de l'Antiquité figurent des soldats absorbés par le jeu, comme ici Achille et Ajax, héros de la guerre de Troie (œuvre du IVe siècle avant J.-C.).

RÈGLE

Le « Ludus Latrunculorum » ou jeu des petits soldats

Ce jeu en duo prisé par les Romains évoque fortement le jeu de dames. Il se pratique sur un plan de 8 x 8 ou 9 x 9 cases, avec 32 (voire 36) pions blancs et noirs, et a pour but de laisser l'adversaire avec un unique pion en main. Après avoir placé les pions où ils le décident, les joueurs doivent les déplacer à tour de rôle, verticalement ou horizontalement, pour en capturer le plus possible.

- Un pion adverse peut être pris lorsqu'il est encerclé des deux côtés.
- Il est possible de sauter par-dessus un de ses propres pions adjacents et d'enchaîner plusieurs sauts au cours du même déplacement.
- Un pion peut entrer et sortir d'un piège mais ne peut pas finir son déplacement sur une case où il est piégé.
- Un pion encerclé est immobilisé, mais reste sur le plateau. C'est au prochain tour que le joueur pourra s'en emparer et le retirer du plateau, avant de jouer.
- Le jeu se termine quand un joueur ne possède plus qu'un pion, lorsque plus aucun coup permis n'est possible, ou bien lorsque les joueurs s'accordent à dire qu'ils n'ont plus de coups utiles à faire. Le joueur qui a capturé le plus grand nombre de pions adverses a gagné.

Ce plateau de jeu romain avec dés et pions provient du fort romain de Housesteads (Royaume-Uni).

HISTORIC ENGLAND / BRIDGEMAN IMAGES

aux jeux », révèle Thomas Daniaux. Le chercheur l'a démontré récemment par le biais d'une extraordinaire découverte, *« ou plutôt une redécouverte, puisque l'objet fut sorti de terre lors d'une fouille organisée pour des scolaires en l'an 2000, dans l'enceinte de la villa gallo-romaine de Mageroy, dans la province belge de Luxembourg* », précise-t-il : celle d'un dé pipé cette fois au mercure, le seul jamais trouvé dans toute l'histoire *(lire* S. et A. *n° 910). « La truelle d'un jeune garçon a accidentellement brisé le petit cube d'os duquel s'est écoulé un étrange liquide gris. Nous n'aurions jamais pu savoir autrement qu'il s'agissait d'un dé de tricheur tant celui-ci est bien falsifié* », raconte le chercheur. Minutieusement creusé et rempli d'une petite quantité de mercure, il permettait à son propriétaire de forcer une des six valeurs de son choix. Outre ce bijou d'ingénierie, bien d'autres dés romains contrefaits ont été recensés : certains aux arêtes biseautées, astuce la plus rudimentaire pour favoriser discrètement une face ; d'autres à une ou deux faces dédoublées, permettant de multiplier les chances de tomber sur un chiffre précis en exploitant le fait que seules trois faces d'un dé sont visibles par l'adversaire une fois celui-ci posé sur la table ; ou encore des dés *« de tricheur absolu, qui présentent deux fois le chiffre 4, deux fois le 5 et deux fois le 6* », énumère Thomas Daniaux. Gare toutefois au raccourci qui consisterait à croire que les Romains étaient, plus que d'autres, un peuple de tricheurs. *« L'urbanisation croissante entraîne en réalité un changement d'échelle : on joue moins avec les éléments naturels qu'avec des objets manufacturés, on cherche à gagner de l'argent pour faire face à une paupérisation croissante* », analyse Véronique Dasen.

Les gargotes de Rome, pas si loin des casinos de Las Vegas ? Le parallèle ne paraît pas absurde… Mais avant d'en arriver aux machines à sous, roulettes et tables de poker, le jeu traversera une période de l'histoire où il devra se faire presque oublier : le Moyen Âge, au cours duquel il est considéré, sous l'influence de la christianisation, comme une perte de temps. Et bien que l'époque médiévale soit celle du développement des échecs ou des cartes à jouer, au travers des contacts avec le monde arabe, *« l'Antiquité est bien la seule période de l'histoire où l'on peut dire que les humains étaient aussi joueurs que nous le sommes aujourd'hui.* » ■

THOMAS DANIAUX

« Les Romains étaient devenus maîtres dans l'art de la fraude aux jeux »

Thomas Daniaux, archéologue à l'université de Fribourg (Suisse)

NICK J. OVERTON ET AL.

Ce cristal de roche qui fascinait tant les peuples anciens

Il y a 6000 ans environ, les populations de Grande-Bretagne utilisaient du quartz, un matériau rare dans cette partie de l'Europe, pour fabriquer des objets destinés à accompagner les défunts. À une époque où le verre n'existait pas, le minéral avait sans doute un caractère sacré.

Les centaines de fragments de quartz découvertes sur le site archéologique de Dorstone Hill, dans le Herefordshire (Royaume Uni) fascinent les archéologues britanniques autant qu'ils les interrogent sur leur utilisation… Dans une étude publiée en 2022 dans la revue *Cambridge Archaeological Journal*, les chercheurs de l'université de Manchester à l'origine des travaux apportent des réponses sur le rôle et la symbolique encore fort méconnus de ces morceaux de cristal de roche. Prenant la forme d'un ensemble de halles en bois, de tumulus et d'enceintes, ce site du néolithique ancien fouillé entre 2011 et 2019 aurait été utilisé comme un lieu mortuaire il y a environ 6000 ans, époque où l'agriculture a émergé en Grande-Bretagne.

Fort de 337 pièces de cristal de roche travaillé, cet ensemble est certainement l'un des plus grands de ce type datant de cette période dans le nord de l'Eu-

◄ **Les pièces de quartz** découvertes à Dorstone Hill (Royaume-Uni) semblent avoir été intentionnellement brisées pour former de plus petits fragments.

rope. Selon les chercheurs, les humains vivant outre-Manche à cette époque déplaçaient très probablement ces cristaux sur de longues distances pour marquer leurs lieux de sépulture et créer, par leur biais, un lien entre le monde des vivants et celui des morts. Dans l'Europe préhistorique, le cristal de roche, ou quartz hyalin, fut une matière première rarement exploitée. Et pour cause : ce minéral transparent, qui prend la forme de grands cristaux hexagonaux, se constitue dans des « fissures de type alpin », un phénomène géologique qui ne s'observe que dans une poignée d'endroits. Au Royaume-Uni, ces gisements se dénombrent sur les doigts d'une main.

Le cristal de roche est aussi un minéral bien récalcitrant lorsqu'il s'agit de le tailler, ce qui explique sans doute que les objets connus des archéologues soient majoritairement de très petite taille, comme des pointes de flèches ou autres outils miniaturisés. Quelques pièces font toutefois exception : dans une tombe mégalithique découverte près de Séville (Espagne), un impressionnant poignard en cristal de roche *(lire l'encadré p. 86)* a été découvert aux côtés de multiples pointes de flèche de grande taille, taillées elles aussi dans le minéral cristallin. Quelques chercheurs ayant contribué à la mince littérature existant sur le sujet ont supposé que dans des régions du Vieux Continent, l'exploitation du cristal de roche a pu être la conséquence d'une pénurie de silex. D'autres, en revanche, y ont vu une dimension symbolique, que les propriétés physiques particulières du minéral pourraient expliquer. *« À une époque où le verre n'existait pas, ces morceaux de matière solide et totalement transparente devaient être très particuliers pour les humains »*, évoque Nicholas Overton, spécialiste des contextes funéraires à l'université de Manchester et auteur principal de l'étude.

337
fragments de cristaux de roche
ont été mis au jour sur le site archéologique de Dorstone Hill (Royaume-Uni), datant du début du néolithique.

Aujourd'hui, les travaux de ce chercheur viennent renforcer l'hypothèse selon laquelle ce minéral était bien plus qu'un simple matériau utilitaire. L'archéologue et ses collègues se sont concentrés sur des pièces retrouvées sur la colline de Dorstone. Ce site semble avoir présenté, durant sa période d'exploitation la plus ancienne, trois vastes structures rectangulaires en bois, construites bout à bout. Selon l'analyse des experts, ces « halles » n'étaient probablement pas des espaces de vie, mais plutôt des lieux importants de rassemblements et de rencontres entre communautés. Non loin d'eux a été dégagée une structure mortuaire, déjà observée sur d'autres sites néolithiques : une auge creusée dans le sol qui présentait, à chacune de ses extrémités, de grands poteaux en bois, comme l'indique la présence de trous. *« Cette auge a probablement été utilisée pour déposer les dépouilles, et ce même si aucun corps n'y a été retrouvé car le sol de Dorstone est acide,* précise Nicholas Overton. *Sur d'autres sites, néanmoins, des structures mortuaires similaires contenaient bien des restes humains.* »

Du quartz retrouvé dans des tumulus funéraires

Ces grandes salles de bois auraient été brûlées intentionnellement, bien que la chronologie de cette combustion volontaire ne soit pas claire : *« Peut-être ont-elles été brûlées en même temps, ou en trois épisodes distincts »*, suppose l'archéologue. Une fois consumés, les restes des bâtiments semblent ensuite avoir été raclés et rassemblés pour constituer trois longs monticules recouverts de terre — un type de monument fréquent au début du néolithique et utilisé par les communautés pour enterrer leurs morts. Ce sont dans ces monticules, au milieu de restes humains incinérés, qu'ont été découvertes des pièces en cristal de roche. On en a également retrouvé dans une autre zone, située à l'autre bout du champ de Dorstone Hill, constituée d'un grand enclos d'environ 150 mètres de dia-

mètre destiné à la pratique du commerce. *« Des groupes de personnes y échangeaient des matériaux et des objets précieux comme des haches de pierre ou, justement, du cristal de roche »*, détaille Nicholas Overton. Le bâtiment aurait également accueilli de grands festins. Malheureusement, aucune preuve concernant la façon dont ces cristaux étaient exposés et utilisés ne subsiste. *« On peut supposer qu'ils étaient sortis pour des occasions spéciales, alors peut-être étaient-ils gardés hors de vue la plupart du temps,* s'aventure l'archéologue. *Mais ce n'est que pure spéculation de ma part! »* Ce dont Nicholas Overton est en revanche certain, c'est que les cristaux de roche, bien que taillés de la même façon que d'autres matériaux en pierre, n'avaient aucune fonction utilitaire. *« Dans le cas du silex, les éclats et les lames produits par la taille étaient transformés en outils tels que des grattoirs, des alènes et des pointes de flèche. Mais pour le cristal de roche, on ne trouve aucun de ces outils,* s'étonne le chercheur. *On a constaté que les morceaux avaient été sélectionnés et déposés à côté d'outils en silex — en particulier des pointes de flèche —, d'autres artefacts notables comme des poteries et des haches en pierre, et d'ossements incinérés. De quoi indiquer que les morceaux de cristal de roche ont été utilisés comme objets funéraires. »*

UNIVERSITÉ DE MANCHESTER

> « On peut supposer que les cristaux de roche étaient sortis pour des occasions spéciales »
>
> **Nicholas Overton,** archéologue à l'université de Manchester (Royaume-Uni)

Un matériau transporté sur de longues distances

Pour étayer ses propos, Nicholas Overton en revient là encore à la particularité du matériau : *« C'est un minéral vraiment rare dans la région, qui provient d'endroits spectaculaires : les montagnes du nord du pays de Galles ou la côte rocheuse de Saint David's Head. »* Parce que ces deux sites sont éloignés de Dorstone Hill, les anciens habitants ont forcément transporté le matériau sur de grandes distances, renforçant ainsi son caractère précieux. *« Par ailleurs,* insiste le chercheur, *il avait un aspect tout à fait inhabituel pour les peuples du néolithique : tenu à la lumière directe du soleil, il devait les surprendre à produire une tache arc-en-ciel sur le sol ou sur le mur ; le cristal est aussi triboluminescent, c'est-à-dire qu'il émet un petit flash de lumière lorsqu'on le frappe. »*

L'équipe de Nicholas Overton souhaite désormais comparer les pièces de Dorstone Hill avec les artefacts cristallins d'autres sites. Avec l'ambition d'établir d'éventuels liens entre communautés ayant partagé savoir-faire et traditions. Les chercheurs aimeraient enfin, grâce à une analyse chimique plus approfondie, pouvoir identifier la source précise du cristal de Dorstone. ■

Marine Benoit @marin_eben

SAVOIR-FAIRE

Le mystère de la dague en cristal

Cette dague en cristal de roche de 20 centimètres de long, retrouvée sur l'un des plus grands sites funéraires d'Europe de l'âge du cuivre, à Valencina de la Concepción, près de Séville (Espagne), est exceptionnelle à bien des égards. Par son caractère unique d'abord, puisqu'on ne connaît à ce jour aucun objet aussi grand en quartz hyalin travaillé de toute la préhistoire. Par sa technicité ensuite, sa réduction par polissage ayant dû demander un effort considérable à son ou ses artisans. Par son caractère précieux enfin, puisque le cristal de roche était pour les populations ibériques du chalcolithique un matériau exotique et rare, à l'instar de l'ivoire dans lequel ont été fabriqués la poignée et le fourreau de la lame, retrouvés non loin d'elle dans la sépulture. Assemblées, ces pièces formaient un objet spectaculaire assurément lié à un personnage de haut rang, selon Antonio Morgado, préhistorien à l'université de Grenade (Espagne). Un détail continue toutefois d'interroger les chercheurs : le poignard n'accompagnait aucun défunt. Il fut découvert seul, dans une chambre ne contenant pas le moindre ossement.

MIGUEL ANGEL BLANCO DE LA RUBIA

Vieille de 5000 ans, la lame a été découverte dans une tombe mégalithique en Espagne.

RETROUVEZ LA DÉCLARATION

GRAND OCEAN

WWW.GRANDOCEAN-EVENT.COM

LA PREMIÈRE ÉDITION S'EST TENUE
LES 7, 8 ET 9 OCTOBRE 2022
À LA CITÉ DE LA MER, CHERBOURG-EN-COTENTIN
À SAINT-VAAST-LA-HOUGUE

& EN DIGITAL

#GrandOcéan

Partenaires Officiels

CHERBOURG en Cotentin · leCotentin · NAVAL GROUP

Partenaires Associés

LA MANCHE LE DÉPARTEMENT · NORMANDIE

Partenaires

LA CITÉ DE LA MER · EDF · FONDATION DE LA MER · OFB · SFA · SNCF GARES & CONNEXIONS

Partenaires Médias

NETFLIX · Ushuaïa TV

Organisé par

Les Echos Le Parisien ÉVÉNEMENTS · SCIENCES AVENIR La Recherche

TRANSVERSALES

SOMMAIRE

▶ C'est à lire
p. 88

▶ C'est à voir
p. 92

▶ Le ciel du mois
p. 93

▶ Chroniques
p. 94

▶ Questions de lecteurs
p. 96

▶ Solutions des jeux
p. 97

▶ Jeux
p. 98

GEORGES LOPEZ/ BIOSPHOTO

Grâce à leurs graines, qui empruntent les airs, l'eau, la fourrure des animaux... pour se déplacer, les végétaux s'implantent dans de nouveaux espaces.

Histoires extraordinaires du végétal

Le célèbre botaniste Stefano Mancuso raconte comment les plantes parviennent à conquérir le monde, jusque dans des lieux extrêmes.

BOTANIQUE Résumons-nous. Car nous connaissons les précédents ouvrages de Stefano Mancuso, et l'amour indéracinable qu'il voue aux plantes. Ce brillant scientifique aura étayé par ses publications le concept de leur intelligence, rappelé le rôle qu'elles jouent dans les équilibres du vivant et érigé leur façon d'être au monde en modèle de société désirable pour les humains. Ici, il creuse le sillon avec humour et liberté, en laissant la démonstration des avancées des connaissances émerger par le concours de l'histoire et de l'aventure, y compris personnelle. Les plantes se sont toujours fait la malle, un rêve de migrantes épinglé à la graine, empruntant l'air, l'eau, la fourrure ou l'estomac des animaux pour arriver à destination. Et si toutefois on les appelle invasives, elles finissent par s'intégrer, conquièrent leur titre de résidence ! Tels la tomate et le basilic, étendards de la cuisine italienne, venus l'une d'Amérique du Sud, l'autre d'Inde.

Au rythme de courts chapitres, consacrés entre autres aux pionnières, navigatrices, rescapées de l'extrême, voyageuses dans le temps, on découvre à Hiroshima ceux que les Japonais appellent les hibakujumoku, des arbres qui ont survécu à l'explosion de la bombe atomique. Ou l'art de la nage de la noix de coco, capable de *« rester vivante dans l'eau de mer jusqu'à plus de quatre mois »* avant d'atteindre des rivages accueillants. Croiriez-vous que des graines de dattes découvertes par des archéologues dans la forteresse de Massada en Israël, datant de 155 avant J.-C., puissent germer deux mille ans après ? Une machine à traverser le temps à elles seules ! ■

Andreina De Bei

L'Incroyable Voyage des plantes, Stefano Mancuso, Albin Michel, 224 p., 17,90 €

La blockchain expliquée en dessin

BD Il n'est pas toujours facile d'expliquer avec des mots ce

que sont une *blockchain* et le bitcoin. Cela passe mieux en dessins, comme le prouve cette bande dessinée. Car, en lui-même, le concept de blockchain use de métaphores. On parle de « minage » et de « mineurs », d'« extraction » de blocs, de « chaîne ». Autant d'éléments aussitôt illustrables. De case en case, où s'agitent des personnages à casques de chantier, le sujet s'éclaire, le moindre mécanisme du système est décortiqué. ■ **A. D.**

La Grande Aventure du bitcoin et de la blockchain, Olivier Bossard et Maud Rivière, Delcourt, 128 p., 16,50 €

Les réseaux sociaux, nouvelle superpuissance

NUMÉRIQUE C'est presque un genre littéraire en soi : l'essai consacré au pouvoir néfaste de Facebook, Twitter, TikTok et autre YouTube. Celui-ci a le

mérite de dresser un état des lieux de ce qui a été dit et découvert sur les dérives des algorithmes de recommandation. Car c'est bien cette pratique du ciblage de contenus en fonction des internautes qui mène à une polarisation extrême, à l'enfermement de chacun dans ses certitudes et à la fin du dialogue. Autrement dit, au contraire de la démocratie. ■ **A. D.**

Algocratie, Arthur Grimonpont, Actes Sud, 288 p., 22 €

Portrait d'une addiction à l'opium

STUPÉFIANT Le laudanum est emblématique des XVIII[e] et XIX[e] siècles. Cette drogue composée d'opium, de vin, de

safran, de poudres de cannelle et de girofle fit des ravages aux États-Unis et en Angleterre, où sa circulation était très peu contrôlée. Elle était beaucoup plus encadrée en France. Le « vin d'opium » n'en a pas moins consumé le poète et homme de théâtre Antonin Artaud, mort en 1948 à l'âge de 51 ans. Son destin donne corps à l'asservissement induit par le laudanum dans ce livre incisif. ■ **O. L.**

Dans la pharmacopée d'Antonin Artaud, Thierry Lefebvre, Le Manuscrit, 144 p., 14,90 €

De la diversité des découvertes

HISTOIRE NATURELLE Saviez-vous que des caméras vigies surveillent les météorites et que des curieux cherchent leur impact sur Terre, dans le cadre d'un programme de sciences participatives ? Que le nombre

d'espèces humaines qui arpentaient la planète il y a 50 000 ans s'est enrichi d'un nouveau spécimen, l'*Homo luzonensis* ? Cet ouvrage éclaire le foisonnement des petites et grandes découvertes de l'histoire naturelle des dernières décennies. ■ **R. M.**

La Terre, le Vivant, les Humains, sous la direction de Jean-Denis Vigne et Bruno David, MNHN/La Découverte, 398 p., 45 €

Un explorateur hors du commun

BIOGRAPHIE *« Il y a en moi du sang viking, une vie trop calme ne m'attire pas »* : c'est ainsi que le Norvégien Fridtjof Nansen justifiait son envie dévorante d'explorer le monde ! Car l'homme se révèle dès sa jeunesse doté de mille talents. Champion de ski et de patinage, il avait consacré ses travaux scientifiques au système nerveux, mais était aussi doué pour l'écriture et le dessin. En 1888, il a 27 ans et monte la première expédition pour traverser l'inlandsis du Groenland, jusque-là inconnu. Il tente ensuite de gagner le pôle Nord, ne l'atteint pas mais devient pour longtemps l'homme ayant atteint un record de latitude nord à 86°13' et acquiert une stature internationale. C'est aussi à cette occasion qu'avec son bateau, le *Fram*, il se laisse dériver dans la banquise et découvre le courant marin arctique. Après la Première Guerre mondiale, Fridtjof Nansen s'occupera du rapatriement des prisonniers de guerre et créera un passeport pour les milliers d'apatrides abandonnés lors de l'effondrement des empires en 1918. Cette passionnante biographie menée tambour battant se lit d'une traite. ■ **Sylvie Rouat**

Le Passeport de Monsieur Nansen, Alexis Jenni, Paulsen, 200 p., 21 €

La rue dans tous ses états

RADIOSCOPIE URBAINE Espace public par excellence, la rue est née avec les premières

cités de l'humanité. Elle fut le théâtre des mutations de la société, où se jouèrent de petits comme de grands actes de l'histoire . Elle vit aussi apparaître les égouts, l'électricité ou la voiture, et devint, à travers l'urbanisme, un espace pensé pour le collectif. Sous la direction de la spécialiste des mouvements sociaux Danielle Tartakowsky, quatre historiens retracent l'histoire de la rue de l'Antiquité à nos jours, rythmée par des illustrations. ■ **M. B.**

Histoire de la rue, sous la direction de Danielle Tartakowsky, Tallandier, 528 p., 34,90 €

Comprendre les traitements du cancer

THÉRAPIES Chef du service d'oncogénétique du CHU de Montpellier, le Pr Pascal Pujol livre ici un plaidoyer non pas tant contre la chimiothérapie, encore bien souvent nécessaire, mais en faveur des thérapies ciblées s'adaptant à la singularité génétique de chaque patient. Il y détaille notamment les résultats spectaculaires obtenus par l'immunothérapie. Et, quand la *« chimio »* s'avère incontournable, le médecin révèle les soins de support les plus indiqués pour réduire ses effets secondaires et accroître son efficacité. Un livre savant autant qu'utile. ■ **H. J.**

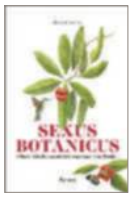
Dépasser la chimio, Pascal Pujol, humenSciences, 240 p., 17 €

Plongée intime

RENCONTRES *« Sauf sursaut immédiat en faveur des raies et des requins de Méditerranée, la messe est dite. »* Ce constat tragique a été fait par l'océanographe et plongeur François Sarano lors d'une enquête sur les derniers requins de Méditerranée, encore abondants dans les années 1950… Cette disparition est observée à l'échelle mondiale où 99,6 % des 1093 espèces de requins et de raies évaluées sont menacées. Cet état des lieux catastrophique qui ouvre le livre a aussi motivé sa réalisation : l'océanographe et le photographe Pascal Kobeh ont voulu partager leurs expériences de terrain avec ces animaux rencontrés et admirés dans l'intimité de leur milieu naturel. On y croise ainsi un grand requin blanc paisible, le requin-baleine glouton, des raies as du camouflage… Le texte, sensible, nous fait vivre ces instants de plongée émouvants au cours desquels le regard de ces animaux majestueux croise sereinement celui des auteurs. ■ **S. R.**

Requins et Raies, regards croisés, François Sarano et Pascal Kobeh, Delachaux et Niestlé, 240 p., 34,90 €

Tout sur la vie sexuelle des plantes



LIAISONS Illustré par d'exquises aquarelles, ce livre explore la sexualité des plantes (au sens large), entre volupté végétale, excentricité organique et orgie florale. Il raconte les noces de champignons et d'algues ou l'ovule presque parfait du ginkgo biloba ; la révolution sexuelle de la fleur avec les angiospermes et leurs ovaires à croquer, les fruits. Il éclaire les jeux de dupe entre les plantes, les insectes et les oiseaux ou autres animaux, comme les liens troubles entre une plante carnivore et ses fourmis. ■ **R. M.**

Sexus botanicus, Joanne Anton, Arthaud, 184 p., 19,90 €

Des presque jumelles devenues si différentes

PLANÉTOLOGIE Depuis 1976 et l'atterrissage des sondes Viking, dix engins automatiques se sont posés sur le sol martien. Ils nous ont donné à voir une planète à la fois proche des reliefs terrestres mais si différente par son absence de vie. Mars et la Terre ont pourtant été presque jumelles pendant un milliard d'années, avant de voir leur destin diverger. Richement illustré, ce livre interroge les paysages des deux planètes pour tenter de comprendre le mystère de l'apparition de la vie et sa fragilité. ■ **S. R.**

Mars - Terre, destins croisés, Philippe Henajeros, Yann Arthus-Bretrand, Belin, 207 p., 29 €

Graines de beauté

GALERIE Des pierres précieuses ? Non, des graines, bien plus précieuses pour notre survie, présentées comme telles dans ce beau livre qui les magnifie. Elles sont issues pour la plupart des collections du Muséum national d'histoire naturelle et le photographe les a immortalisées à la loupe stéréomacroscopique, en révélant la beauté des détails. Des textes du paysagiste Gilles Clément ou de l'ethnoécologue Serge Bahuchet, entre autres, éclairent l'univers de ces bijoux. ■ **A. De B.**

Histoires de graines, photographies de Thierry Ardouin, Atelier EXB, 327 p., 45 €

La création humaine au fil des millénaires

ARTISTES Peut-on identifier l'esprit du geste artistique qui, par-delà les millénaires, rapproche les humains ? Pascal Picq s'essaie ici à la séduisante aventure de comparer des œuvres aussi lointaines qu'un galet gravé proctomagdalénien et un tableau de Pierre Soulages, rapprochés par les stries imposées à la matière. Le paléoanthropologue nous invite à ressentir l'élan créatif commun au magnifique bison criblé de points rouges de la grotte de Marsoulas (-18 000 ans) et à une cosmogonie de la période rouge d'Yves Klein (1961). ■ **A. De B.**

Manifeste intemporel des arts de la préhistoire, Pascal Picq, Flammarion, 160 p., 29 €

Panorama cosmique

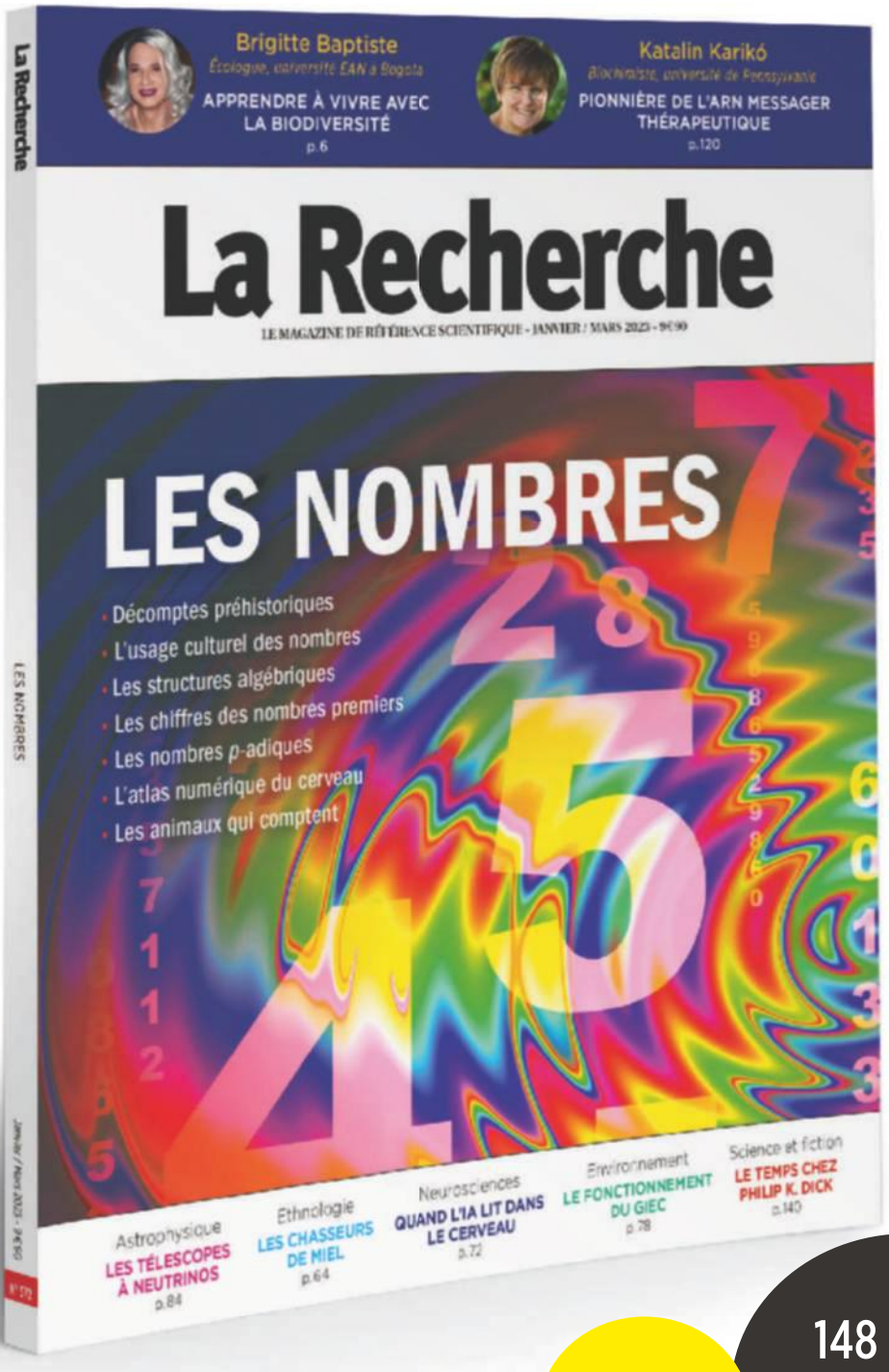
PORTRAIT Le livre de l'astrophysicien Sylvain Chaty et du cinéaste Quentin Lazzarotto a l'ambition de dresser un portrait des connaissances actuelles du domaine. Imposant, sa lecture reste agréable grâce à un effort d'iconographie qui fait ressortir des aspects visuels marquants. Sans oublier des parties historiques, notamment sous la forme de portraits de figures moins attendues de l'astronomie, tels Guillaume le Gentil, Ole Römer ou Vera Rubin. Des entretiens avec des chercheurs et des chercheuses contemporaines donnent une saveur de ce que peut être le quotidien d'un scientifique aujourd'hui. Le découpage de l'ouvrage en quatre « défis » (défier la distance, défier le temps, défier la lumière, défier l'humain) permet un panorama complet de l'astrophysique, de la taille du Système solaire et de l'Univers, des étoiles aux galaxies, du Big Bang aux trous noirs, en passant par les moyens d'observation — dont le télescope James-Webb — mais aussi les nouveaux messagers du cosmos, comme les neutrinos ou les ondes gravitationnelles, sans oublier l'exploration lunaire et planétaire. Un beau livre à dévorer sans modération. ■ **Philippe Pajot**

Astronomie : les grands défis, Sylvain Chaty et Quentin Lazzarotto, EPA, 352 p., 35 €

31 SCIENTIFIQUES
PARTICIPENT À CE NUMÉRO

La Recherche

LE MAGAZINE DE RÉFÉRENCE SCIENTIFIQUE



Chez votre marchand de journaux

148 pages
MAGAZINE-LIVRE
Trimestriel

EXPOSITIONS

Auxerre (89)

Une Terre, des solutions
Le parc du muséum, plus précisément son sol, se fait lieu d'exposition. Il sert de support à une prise de conscience de l'importance du sous-sol, à la fois habitat, réserve de nourriture et de matériaux, archives des traces du passé.
Muséum d'Auxerre, 5, boulevard Vauban, jusqu'au 27 janvier. Rens. : 03.86.72.86.40.

Lyon (69)

Qu'est-ce que tu fabriques ?
Cette exposition s'inscrit dans le nouveau parcours permanent du musée. Il raconte l'histoire industrielle de la ville, durablement façonnée par la fabrique de la soie. Archives et pièces de collection liées aux techniques de tissage se côtoient.
Musée d'histoire de Lyon, 1, rue du Petit-Collège. Rens. : 04.78.42.03.61.

Mende (48)

Musée du Gévaudan
Fermé pendant 27 ans, le musée a rouvert en octobre dernier. En 12 salles, sur trois niveaux, il se consacre à la Lozère, son histoire, sa nature, sa culture, avec des pièces archéologiques et ethnographiques.
Musée du Gévaudan, 3, rue de l'Épine. Rens. : 04.66.49.85.85.

Paris (75)

Un bestiaire japonais. Vivre avec les animaux à Edo-Tokyo
Cette exposition dévoile la cohabitation harmonieuse entre humains et animaux dans la capitale du Japon, du XVIIIe siècle au début du XXe siècle. Une relation qui touche animaux domestiques comme sauvages et stupéfia les Occidentaux.
Lire notre reportage : sciav.fr/Japon911
Maison de la culture du Japon, 101 bis, quai Jacques-Chirac, jusqu'au 21 janvier. Rens. : 01.44.37.95.00.

N.BRETON/EPPDCSI

Cette installation met en scène les techniques de détection et de diagnostic de la maladie.

Paris (75) / Exposition

Cancers

Dans une ambiance feutrée nimbée de lumières douces, pas de circuit imposé, pas de manipulation ni d'atelier. Pour cette exposition sur le sujet délicat, et parfois encore tabou, du cancer, la Cité des sciences rompt avec ses habitudes. Conçu en partenariat avec l'Inserm et l'Institut national du cancer, le parcours est organisé en pôles thématiques dissociés les uns des autres. Le visiteur choisit lui-même l'ordre et les sujets qu'il souhaite aborder, en fonction de sa sensibilité et de son expérience. L'exposition évoque aussi bien les caractéristiques biologiques des cellules cancéreuses que la déflagration psychologique qui résulte du diagnostic. Cinq axes sont ainsi déclinés, du dynamisme de la recherche à la perception du cancer par la société, en passant par les traitements. Dans un volet très réussi abordant des champs de recherche innovants très variés, des scientifiques dévoilent le contexte et l'intérêt de leurs découvertes.
Lire notre reportage : sciav.fr/cancer911 ■

Marie Parra

Cité des Sciences et de l'industrie, 30, avenue Corentin-Cariou, jusqu'au 8 août. Rens. : 01.85.53.99.74.

Foules
La circulation des piétons, les flux d'usagers dans les transports ou les réactions de masses sur Internet constituent un champ d'étude méconnu. La scénographie de cette exposition fourmille d'astuces, de manipulations et d'ateliers.
Lire notre reportage : sciav.fr/foules911
Cité des sciences et de l'industrie, 30 avenue Corentin-Cariou, jusqu'au 8 août. Rens. : 01.85.53.99.74.

Rennes (35)

Le rayon extraordinaire
Une trentaine d'œuvres associent principes optiques et technologies numériques pour explorer la notion de polarisation de la lumière. Ce projet est issu d'une résidence art et sciences à l'Institut Foton (université Rennes 1/CNRS).
Les Champs libres, 10, cours des Alliés, jusqu'au 5 mars. Rens. : 02.23.40.66.00.

Saint-Étienne (42)

Saint-Étienne 1780-1856, r/évolutions
Le musée de la Mine et celui d'Art et d'Industrie s'associent autour de la première révolution industrielle. L'exposition raconte comment la ville est devenue l'épicentre de bouleversements dus à la mine, à la sidérurgie et au chemin de fer.
Musée de la Mine, 3, boulevard maréchal Franchet-D'Esperey ; musée d'Art et d'Industrie, 2 place Louis-Comte, jusqu'au 11 juin. Rens. : 04.77.49.73.00.

Saint-Germain-en-Laye (78)

Le monde de Clovis, l'exposition dont vous êtes le héros
Dans cette exposition transformée en aventure, le visiteur incarne un personnage pour mieux découvrir le monde mérovingien.
Musée d'archéologie national, place Charles-De-Gaulle, jusqu'au 22 mai. Rens. : 01.39.10.13.00.

Scannez ce QR code et retrouvez toutes les expositions dans notre guide

PAR JOHAN KIEKEN

Où sont les planètes ?

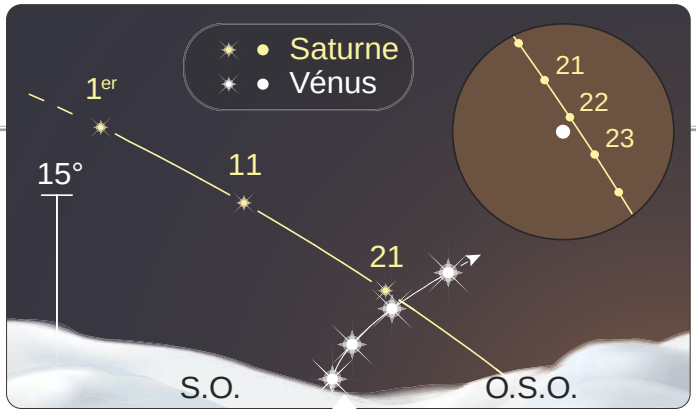
MERCURE La plus petite planète du Système solaire passe en conjonction inférieure le 7 et atteint sa plus grande distance angulaire (25°) à l'ouest du Soleil le 30. Elle est décelable en seconde quinzaine peu avant le lever du Soleil, très bas vers le sud-est.

VÉNUS L'étincelante étoile du Berger devient, en soirée, de mieux en mieux observable au fil du mois. Si, une demi-heure après le coucher du Soleil, sa hauteur n'est que de 6° le 1er, elle sera de 14° trente jours plus tard.

MARS Un mois après son passage à l'opposition, la planète Rouge se trouve toujours dans de très bonnes conditions d'observation. Encore bien brillante, visible dès la tombée du crépuscule, elle est observable une grande partie de la nuit. Mars culmine en soirée, très haut dans nos ciels européens. S'éloignant actuellement de la Terre, elle perd près de 60 % de son éclat au cours du mois.

JUPITER Très brillante, la planète géante a déjà dépassé sa culmination quand l'obscurité s'installe. Elle se couche vers minuit. Son éclat la rend immanquable en soirée.

SATURNE La planète aux anneaux demeure visible uniquement en soirée, bas vers le sud-ouest.



Nous sommes 1 h après le coucher du Soleil. Alors que Saturne plonge jour après jour vers l'horizon, Vénus s'en extrait. La vue aux jumelles, centrée sur Vénus, montre les conditions de leur rapprochement du 22.

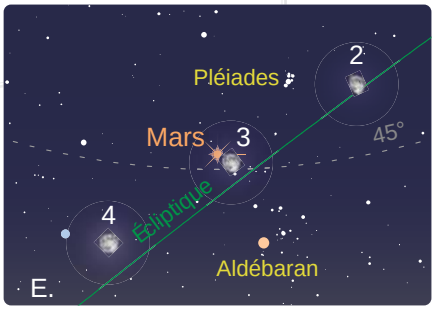
Un joli rapprochement entre Saturne et Vénus

LE SOIR DU 22, Vénus et Saturne ne seront séparées que par 0,4°, un angle plus petit que le diamètre apparent de la Lune. Un tel rapprochement n'est bien sûr qu'illusoire, Saturne se trouvant à ce moment sept fois plus éloignée de nous que Vénus.

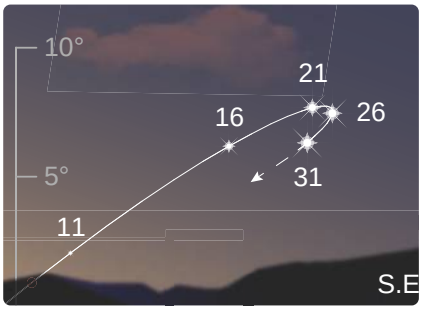
Notre conseil Un horizon sud-ouest libre de tout obstacle est indispensable au succès de l'observation. Une paire de jumelles sera un plus pour débusquer sans ambiguïté Saturne près de l'horizon. Il sera également profitable de suivre le mouvement relatif des deux planètes sur plusieurs jours autour du 22.

L'appli du mois

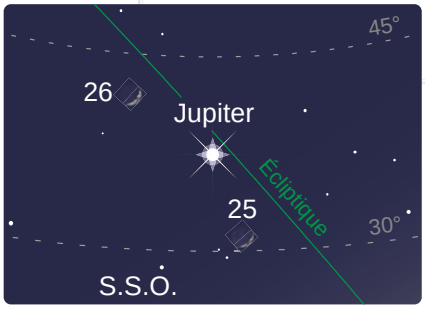
SKY MAP est une application gratuite en français pour Android. Elle se présente sous la forme d'un planétarium portable permettant d'identifier les étoiles, les constellations et les planètes dans le ciel. Elle montre aussi dans quelle direction pointer son appareil pour trouver l'astre de son choix.



LE SOIR DU 3, 2 H APRÈS LE COUCHER DU SOLEIL, la Lune en phase gibbeuse sera à 1° de la planète Mars. Le rapprochement prendra place à mi-hauteur dans le ciel, vers l'est.



À PARTIR DU 16, 30 MINUTES AVANT LE LEVER DU SOLEIL, tentez d'observer la planète Mercure vers le levant. Assurez-vous d'abord d'avoir un horizon sud-est parfaitement dégagé !



LES SOIRS DES 25 ET 26, LE PREMIER CROISSANT DE LUNE et sa belle lumière cendrée rendront visite à la planète Jupiter. Nous sommes ici 1 h après le coucher du Soleil.

Scannez ce QR code pour découvrir la carte du ciel de janvier

Christophe Cassou, directeur de recherche au CNRS, auteur principal du 6e rapport du Giec (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat), groupe 1.

Céline Guivarch, directrice de recherche à l'École des ponts, auteure principale du 6e rapport du Giec, groupe 3.

A. BILLET / UNIVERSCIENCE

CLIMAT PAR CHRISTOPHE CASSOU ET CÉLINE GUIVARCH

Plus vite, plus intense... aujourd'hui et demain

Les futurs climatiques possibles en France viennent d'être réévalués sur la base des derniers résultats de modèles de climat et de nouvelles méthodes statistiques qui les combinent avec les observations les plus récentes permettant de réduire les incertitudes. Le scénario tendanciel — celui de la poursuite des politiques climatiques actuelles dans le monde — nous conduirait à un réchauffement annuel de 2,7 °C (plus ou moins 0,5 °C) à l'horizon 2050 et de 3,8 °C (plus ou moins 1 °C) pour 2100 par rapport au début du XXe siècle (1900-1930). Il est déjà de 1,7 °C sur la dernière décennie (2010-2019). La France se réchauffe et se réchauffera plus fortement que la moyenne planétaire. Les implications sont considérables en matière d'adaptation aux effets du changement climatique, en particulier aux tensions sur la ressource en eau et aux chaleurs extrêmes. Il est urgent d'engager des stratégies cohérentes et coordonnées entre tous les secteurs pour assurer anticipation et résilience face à des risques qui seront très marqués : un seuil minimum de 4° C de réchauffement sur la France est à considerer pour être a la hauteur des enjeux d'adaptation.. Certains écosystèmes terrestres et marins ne pourront pas s'accommoder d'un tel réchauffement, impliquant des modifications irréversibles des paysages mais aussi des pratiques agricoles, qu'il faut accompagner dès maintenant. Les discours qui continuent à qualifier d'alarmistes les climatologues informant sur une situation de plus en plus critique sont plus que jamais irresponsables. ■

Directrice de recherche au CNRS, Institut de recherche en informatique fondamentale (CNRS/université Paris Cité).

CLAIRE MATHIEU

MATHÉMATIQUES PAR CLAIRE MATHIEU

La mesure de l'air, pilier de la santé universitaire

La propagation du Covid-19 se fait par aérosols et est favorisée par les rassemblements en intérieur. En raison des cours en amphithéâtre, des travaux dirigés dans des petites salles et du brassage des grandes conférences, l'enseignement supérieur et la recherche sont particulièrement concernés. Or, le virus est toujours là, autour de nous : ainsi, depuis la rentrée universitaire 2022, plusieurs de mes collègues ont dû se faire remplacer dans leur enseignement pour cause de Covid. Nous devons lutter contre sa propagation. Malheureusement les salles ne sont pas toujours bien ventilées, les purificateurs d'air y sont rares, les gens sont réticents à aérer lorsqu'il fait froid et le port du masque est socialement mal accepté : ces mesures désagréables demandent donc justification. Pour vivre avec le virus, il faut savoir ajuster les mesures au risque de contamination, et cela nécessite de quantifier ce risque. Pour cela, nous avons de la chance : il a été montré expérimentalement que les aérosols se dispersent dans l'air comme les particules de CO_2. Il suffit de mesurer le taux de ce gaz avec un capteur pour savoir quelle fraction de l'air qu'on inspire a déjà été exhalée par une autre personne afin de décider en connaissance de cause s'il est nécessaire d'aérer ou de porter un masque. L'équipement des salles en capteurs de CO_2 est une mesure facile et indispensable pour organiser la vie en société, particulièrement à l'université, en temps de pandémie. ■

ÉTHIQUE PAR JEAN-GABRIEL GANASCIA

La sagesse d'un mathématicien précoce, généreux et avisé

Professeur à Sorbonne Université, à Paris, chercheur en intelligence artificielle au LIP6 (Sorbonne Université, CNRS), ex-président du comité d'éthique du CNRS. Dernier ouvrage publié : *Servitudes virtuelles*, Seuil, 2022.

BRUNO LÉVY

Pour bien commencer l'année, voici l'histoire édifiante d'un homme miséricordieux qui, âgé d'à peine 19 ans, conçut et fabriqua une machine arithmétique pour soulager son père, un fonctionnaire investi de hautes responsabilités, des calculs fastidieux qu'il devait exécuter dans le cadre de la charge qu'on lui avait confiée. Ce faisant, il comprit que la construction d'une telle machine exigeait un travail transdisciplinaire avant la lettre, tout à la fois théorique et pratique, ainsi qu'il l'écrivit par la suite : « *Les lumières de la géométrie, de la physique et de la mécanique m'en fournirent le dessein, et m'assurèrent que l'usage en serait infaillible, si quelque ouvrier pouvait former l'instrument dont j'avais imaginé le modèle.* » Et, pour éviter que ces ouvriers ne produisent « *d'inutiles avortons* », il fallait absolument « *que l'art soit aidé par la théorie* ». Outre sa générosité, son ingéniosité et son intuition des difficultés que rencontre toute ingénierie, il prit la peine d'examiner la portée de son invention. Il s'avisa alors de ce que « *la machine arithmétique fait des effets qui approchent plus de la pensée que tout ce que font les animaux ; mais elle ne fait rien qui puisse faire dire qu'elle a de la volonté comme les animaux* ». Autrement dit, même si les machines à calculer simulent à s'y méprendre des tâches cognitives complexes comme des multiplications, des raisonnements ou des démonstrations mathématiques, et ce bien mieux que les bêtes, elles ne disposent pas pour autant de conscience, de capacités d'initiative, à savoir, en termes philosophiques, d'agentivité. Puissions-nous nous rappeler aujourd'hui la leçon de ce jeune homme plein de philosophie, à l'heure où certains transhumanistes expliquent que des ordinateurs surpuissants vont bientôt accéder à une forme de conscience, prendre le pouvoir et nous dépasser ! Ce mathématicien talentueux et sage naquit en 1623, il y aura exactement quatre siècles en cette nouvelle année. Il s'appelait Blaise Pascal. Rendons hommage à sa clairvoyance ! ■

L'ŒIL DE LASCAR

Comment savoir s'il y a de la vie sur d'autres planètes ? En traquant les émissions produites par ces astres : certains gaz sont des signatures biologiques, caractéristiques d'une trace de vie. Tels sont les produits de la méthylation, un processus naturel d'élimination des toxines. Or, le bromure de méthyle est bien connu sur Terre pour être généré par… le brocoli, ainsi que le relève Michaela Leung, planétologue à l'université de Californie, à Riverside (États-Unis), dans une étude publiée dans *The Astrophysical Journal*. La spécialiste propose donc aux exobiologistes de lui faire la chasse. Les végans apprécieront. **O. L.**

Sur notre site **sciencesetavenir.fr,** la rédaction répond à des questions scientifiques posées par nos lecteurs sur notre page **Facebook.** En voici une sélection.

BOTANIQUE

Les arbres stockent-ils moins de CO_2 en cas de sécheresse ?

Benoit G.

Les épisodes de sécheresse tuent les arbres les plus fragiles, provoquent la chute des feuilles et inhibent leur stockage de dioxyde de carbone (CO_2). Tout simplement parce que les arbres ferment leurs stomates, les petits orifices à la surface des feuilles qui permettent de capter le CO_2, pour ne pas perdre leur humidité et survivre. Lors des épisodes de sécheresse d'août dernier, Paris et Londres ont connu ce que l'on appelle un « faux automne » : les feuilles sont tombées prématurément alors que les arbres passaient en mode de survie pour conserver leur eau. ■ **L. L.**

GÉOPHYSIQUE

Pourquoi les boussoles pointent-elles vers le nord ?

Roland D.

L'aiguille aimantée d'une boussole pointe vers le pôle nord magnétique. Différent du pôle Nord géographique, il correspond à un point à la surface de notre planète où le champ magnétique, qui prend son origine dans les courants qui agitent le noyau liquide de la Terre, est exactement vertical. Le pôle nord magnétique se trouve ainsi dans le Grand Nord canadien, tandis que le pôle sud est situé au large de la base française Dumont-d'Urville en Antarctique. Nous ne ressentons pas consciemment le champ magnétique terrestre, mais les aimants que sont les boussoles sont capables de le détecter. ■

Anne-Sophie Tassart @TassartAS

BURGER/PHANIE

L'hyperactivité neuronale est mesurée par un électroencéphalogramme.

NEUROLOGIE

Que se passe-t-il dans le cerveau lors d'une crise d'épilepsie ?

Alex A.

Touchant 400 000 Français et 50 millions de personnes dans le monde (le plus souvent, des enfants, adolescents et personnes âgées), la crise d'épilepsie est une affection neurologique qui se manifeste par des « décharges excessives », c'est-à-dire une hyperactivité d'un groupe plus ou moins étendu de neurones, se situant dans l'un ou les deux hémisphères du cerveau. *« L'image la plus parlante serait celle d'un court-circuit troublant le fonctionnement cognitif et le comportement normal du sujet »*, résume l'Inserm. La crise d'épilepsie dite généralisée est la forme la plus connue et la plus impressionnante. Induite par n'importe quelle zone du cortex des deux hémisphères cérébraux, elle touche l'ensemble de la musculature squelettique (raidissement brutal puis secousses), tout en étant associée à une perte de conscience (absence de quelques secondes à quelques minutes) et à des troubles végétatifs (bave aux lèvres, perte des urines…). Mais parfois, la crise d'épilepsie n'est que « partielle » : selon la région cérébrale impliquée, elle engendre différents signes cliniques. Par exemple, une décharge au niveau du cortex moteur peut engendrer un raidissement ou des secousses des doigts, et se propager au bras puis au reste du corps. La crise épileptique partielle peut entraîner des fourmillements dans un membre, tout comme des hallucinations auditives ou visuelles, selon que la décharge électrique touche une région cérébrale sensitive, auditive ou visuelle. ■ **Lise Loumé** @Lise_Loume

Solutions des jeux parus dans « Sciences et Avenir-La Recherche » n° 910, décembre 2022

Quatre 7 pour 10

À part 6 et 8, les solutions sont simples :
7/7 + 7 – 7 = 1 ;
7/7 + 7/7 = 2 ;
(7 + 7 + 7) / 7 = 3 ;
77/7 – 7 = 4 ;
7 – (7 + 7)/7 = 5 ;
7- (7 – 7) / 7 = 7 ;
7 + (7 + 7) / 7 = 9 ;
(77 – 7) / 7 = 10
Pour 6 : 7 – 7/7 = 6
et pour 8 : 7 + 7/7 + 7 – 7 = 8.
(On aurait pu faire le contraire).
Nous avons bien utilisé dix fois quatre 7 avec un de moins pour obtenir 6 et un de plus pour 8.

Quel domino manque ?

Le double six : la somme des points donne la suite des premiers nombres pairs : 0, 2, 4, 6, 8, 10, il manque donc 12.

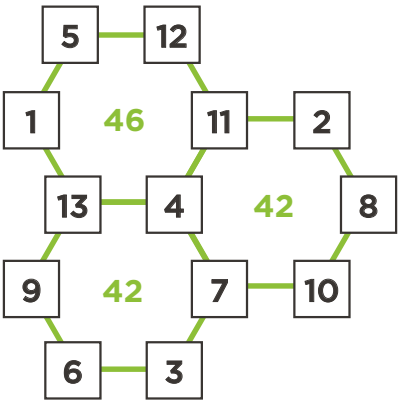
Parcours contrarié

1 • 52 • 340 • 78 • 29 • 36 • 54 • 231 • 46 • 100

Logique pratique

Non, un poète ne peut être un aliéné. Si un poète était aliéné, il se prendrait un jour pour Napoléon, aurait des rêves de grandeur et donc craindrait l'échec. Ce serait contradictoire avec l'affirmation qu'aucun poète ne craint l'échec.

Hexagones numériques



Une formidable diversité

11 fois par an, l'actualité des savoirs pour tous

N° 902 Quantique, la révolution du XXIe siècle

N° 903 Les arbres, gardiens de la Terre

N° 904 Les aliments qui augmentent l'espérance de vie

N° 905/906 Pourquoi ? Dossier spécial

N° 907 Messages de l'univers lointain

N° 908 7 traitements qui révolutionnent la médecine

N° 909 L'avant Big Bang

N° 910 La science lit dans les pensées

Bon de commande

Je commande les numéros ci-après au prix de : 7 € par numéro payable par chèque à l'ordre de *Sciences et Avenir* (port compris pour la France). Bon de commande à retourner à :

Sciences et Avenir
service des abonnements
45, av. du Général-Leclerc 60643 Chantilly Cedex

❑ N° 902 ❑ N° 903 ❑ N° 904 ❑ N° 905/906
❑ N° 907 ❑ N° 908 ❑ N° 909 ❑ N° 910

Nom : .....
Adresse : .....
..... Ville : .....
Code postal : .....

PAR PIERRE BERLOQUIN

Énigmes, logique et mathématiques

Retrouvez chaque mois des problèmes ludiques pour solliciter votre curiosité. Solutions dans le prochain numéro.

Poésie illogique

Quel bouleversement systématique a subi cette citation de Baudelaire ?

LA BÊTISE EST SOUVENT LA DE ORNEMENT L'BEAUTÉ ; C'EST ELLE YEUX AUX DONNE QUI CETTE LIMPIDITÉ MORNE DES CE ET NOIRÂTRES, ÉTANGS CALME HUILEUX DES MERS TROPICALES.

Logique alphabétique

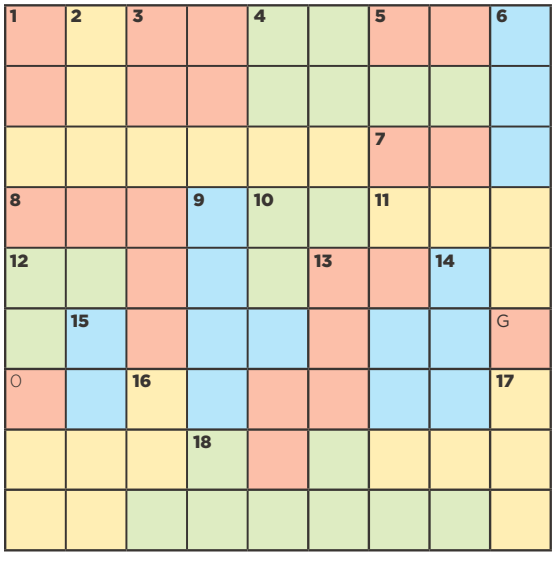
Quelle lettre manque dans cette famille ?

A B D . P Q R

Panagramme

Dans ce nouveau type d'énigme, chaque ligne et chaque colonne contiennent les 9 lettres de « MON GRISET ». Chaque zone colorée contient en vrac les lettres d'un mot dont la définition correspond à son numéro. Si la zone comporte une lettre, c'est la lettre elle-même. Reconstituez la grille.

1 : Unité de temps
2 : Ouvrière de mode
3 : Soit couché
4 : Beaujolais
5 : Des biffins
6 : Rappeurs marseillais
7 : Ennemi de James Bond
8 : Déguise
9 : Éminences
10 : Phonétique : apparu
11 : Forme d'un auxiliaire
12 : Un chien avec tintin
13 : Enfiles
14 : Peuvent être à la noix
15 : Conjonction
16 : Un copain d'Henri III
17 : Parier
18 : Casque d'or



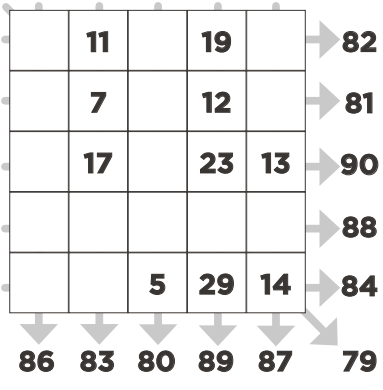
Addition percée

En utilisant les chiffres 1 4 5 6 9, validez cette addition.

```
  . 3 . 7
+ 6 . 3 .
---------
  7 7 9 .
```

Magie séquentielle

Complétez ce carré particulier pour qu'il contienne tous les nombres de 5 à 29 et présente les sommes qui se suivent de 79 à 90 sur les lignes, les colonnes et chacune des deux diagonales.



Énigmes Créalude, Pierre Berloquin, Jean-Thierry Garrigues

LA CITÉ DE LA MER

CHERBOURG

UNE ÉMOTION **VIVANTE** DEPUIS 20 ANS

LE MONUMENT PRÉFÉRÉ DES FRANÇAIS 2022

CITEDELAMER.COM

ÅSGARD | www.asgard-media.fr

Jusqu'où peut-on aller

lorsque l'on est bien accompagné ?

Organiser votre patrimoine, préparer une transmission, investir sur les marchés. Vos aspirations n'appartiennent qu'à vous. Nos conseillers et nos experts vous accompagnent pour définir une stratégie financière qui corresponde à vos objectifs et surtout, qui vous corresponde.

Prenez rendez-vous avec un conseiller sur hsbc.fr

HSBC

HSBC Continental Europe – Société anonyme au capital de 808 501 050 euros – SIREN 775 670 284 RCS Paris. Siège social : 38 avenue Kléber 75116 Paris. Banque et intermédiaire en assurance immatriculé auprès de l'ORIAS (Organisme pour le Registre des Intermédiaires en Assurance – orias.fr) sous le n° 07 005 894. Crédit photo : Getty Images.